



YASAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Sistem Tasarımı Proje Özetleri

2016 - 2017

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ**

**SİSTEM TASARIMI
PROJE ÖZETLERİ
2016-2017**

Editör:

Yrd. Doç. Dr. Adalet Öner

Hazırlayan:

Araş. Gör. Özgün Öztürk

İZMİR 2017

**YAŞAR ÜNİVERSİTESİ ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
SİSTEM TASARIMI PROJE ÖZETLERİ**

2016-2017

Editör: Yrd. Doç. Dr. Adalet Öner

ISBN 978-975-6339-62-6

Kubilay Ofset Reprodüksiyon Tic. Ltd. Şti.

Tuna Mah. Sanat Cad. K:1 No:1 Bornova

Tel: 0 232 483 97 00, e-posta: info@kubilayofset.com

İzmir, Mayıs 2017

ÖNSÖZ

Müfredatımızın son yılında yer alan ve mezuniyetten önce öğrencilerimize karmaşık gerçek problemler üzerinde çalışma imkânı sunan lisans mezuniyet projeleri, son sınıf öğrencilerimiz tarafından, akademik ve sanayi danışmanları eşliğinde, “Sistem Analizi” ve “Sistem Tasarımı” dersleri kapsamında gerçekleştirilmektedir. Dokuz aylık bütün bir akademik yılı kapsayan proje süreci, öğrencilerimizin lisans öğrenimleri boyunca edindikleri bilgi ve yetenekleri, yoğun bir takım çalışması ve sanayi tecrübesi ile tamamlamaktadır.

Üniversite-sanayi İşbirliği faaliyetlerimizin temel bir parçasını oluşturan bu projelerde, İzmir ve çevresinde üretim yapan veya servis sağlayan şirket ve kurumların endüstri mühendisliği ve yöneylem araştırması teknikleriyle çözülebilecek sorunlarını tespit ederek alternatif çözümler geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda yapılan analizler, geliştirilen veri yapıları ve elde edilen çözümler kullanıcı dostu bir karar destek sistemi içine konularak somutlaştırılmaktadır. Her projenin nihai çıktısı tüm bu unsurları içeren karar destek sistemi yazılımıdır.

Hem öğrencilerimize hem de proje ortağımız şirket ve kurumlara büyük değer kattığını düşündüğümüz bu süreç kapsamında, 2016-2017 akademik yılında bölgemizdeki saygın şirketlerde yedi proje hayata geçirilmiştir. Proje konularımız endüstri mühendisliği problemlerinin geniş yelpazesini yansıtacak niteliktedir. Üzerinde çalışılan problemler ve geliştirilen fikirler, SAN-TEZ ve TÜBİTAK destekli projelerin kurgulanması gibi farklı işbirliği imkânlarının ön aşamalarını oluşturmaktadır.

Sistem Tasarımı Proje Özetleri 2016-2017 kitabı aracılığıyla öğrencilerimizin bir yıl boyunca gösterdikleri yoğun çalışmanın sonuçlarını sizlerle paylaşmaktan mutluluk duymaktayız.

Yrd. Doç. Dr. Adalet Öner

Yaşar Üniversitesi

Endüstri Mühendisliği Bölümü

Lisans Mezuniyet Projeleri Koordinatörü

Mayıs 2017

Bu kitapta sunulan özetlerde yer alan veriler, gizlilik gereği gerçeği yansıtmayıp, gözlem ve kıyaslamalara imkân verecek şekilde değiştirilmiştir.

Proje sürecinde özveriyle çalışan **akademik danışmanlarımıza**, projelerimizi destekleyen **şirket danışmanlarımıza** ve yoğun emek veren **öğrencilerimize** en içten teşekkürlerimizi sunarız.

Sistem Analizi ve Tasarımı Komitesi:
Adalet Öner
Özgün Öztürk

İÇİNDEKİLER

Önsöz.....	iii
İçecek Dağıtım Deposu Tasarım Problemi (Coca-Cola).....	1
Malzeme Besleme Sisteminin Analizi (Delphi Otomotiv).....	14
Gemi Filo Dağıtımı ve Hız Optimizasyonu Problemi (Bimar, Arkas).....	28
Konteyner Terminalinde Çok Seviyeli Depolama Planlaması (Nemport)	42
Yıllık Üretim Planlaması ve Çizelgeleme (Philsa).....	56
Montaj Hattı Dengeleme Problemi (Whirlpool).....	70
Ön Montaj Hatlarında Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme (Bosch).....	84
Proje Uygulama Planı	98
Proje Ekipleri	110

İçecek Dağıtım Deposu Tasarım Problemi

Coca Cola İçecek A.Ş.

Proje Ekibi

Ayça Bozkurt

Emre Ervardar

Hande Taşkiran

Said Cihad Gürlesin

Taylan Atar

Endüstri Mühendisliği

Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Murat Demir, Alan Satış Müdürü

Bülent Vural, Satış Destek Uzmanı

Akademik Danışman

Doç.Dr. Banu Yetkin Ekren,

Anıl Akpunar

ÖZET

Dağıtım depoları, ürünlerin müşterilere ulaştırılmasında, müşteri memnuniyetini arttırma amaçlı kurulmuş tesislerdir. Tedarik zincirinin önemli unsurlarındandır. Bu projenin amacı, Coca-cola İçecek A.Ş. Urla/İzmir dağıtım deposu için, envanter modelleme ile, raf kapasitesi belirleme ve tasarım çalışması yapmaktır. Depo tasarımı ile amaç, envanter modelleme ile belirlenen kapasiteye bağlı olarak, hangi ürünlerin hangi alanlarda, ne şekilde depolanacaklarını belirlemektir. Bunun için Excel-makro tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: dağıtım deposu, depo tasarımı, belirsiz envanter modelleme, karar destek sistemi

1.Genel Sistem Analizi

Coca Cola sisteminde satış hacmine göre beşinci sırada yer alan CCI (Coca Cola İçecek A.Ş.), The Coca-Cola Company (TCCC) markalarından oluşan gazlı ve gazsız içeceklerin üretim, satış ve dağıtımını gerçekleştirmektedir. Üretilen ürünlerin müşterilere kısa sürede ulaşımını sağlama amaçlı, Coca Cola İçecek belirli bölgelere dağıtım depoları kurmuş ve müşteri memnuniyetini bu sayede arttırmayı hedeflemiştir. İzmir-Urla deposu da Urla ve Çeşme bölgelerindeki müşterilere hizmet verme amaçlı genellikle Kemalpaşa fabrikadan gelen ürünlerin geçici olarak depolandığı dağıtım deposudur. Burada ürünler siparişlere göre karışık paletler oluşturularak müşterilere ulaştırılır.

Bir depoda temel problem genellikle hangi ürünün nerede depolanacağını belirlemek ve sipariş hazırlama sürelerinin azaltılması amacıyla ürün çekme sürelerinin azaltılmasıdır.

2. Problemin Belirlenmesi

Problemlerin tespiti için mevcut durumdaki sistemin analizi yapılarak semptomlar belirlenmiştir.

2.1. Mevcut Sistem Analizi

Mevcut sistemde, Urla bayii dağıtım deposuna gelen ürünler, öncelikle bir hasar kontrolüne tabii tutulur. Yani, kutu ve şişelerde herhangi bir çarpma, ezilme ya da patlama olup olmadığı kontrol edilip, bozuk ürünler imha için ayrılır, sorunsuz ürünler müşterilere dağıtılmak üzere geçici olarak depolanır. Depoda, 3'ü depo sorumlusu, 13'ü şoför ve 13'ü de muavin olarak görev yapan 29 personel bulunmaktadır. Üretimden gelen ürünler, depo sorumluları tarafından yerleri sezgisel olarak belirlenip yığınlar halinde istiflenir. Dağıtım süreci müşterilerden günlük taleplerin alınmasıyla başlayıp, talebin depodaki mevcut stoktan karşılanıp karşılanamayacağı kontrolü yapıldıktan sonra,

karşılaniabiliyorsa, gerekli ürünlerin karışık palet oluşturma alanına götürölüp, burada küçük yığınlar halinde istiflenmesiyle devam eder. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken bir durum vardır. İlk giren ilk çıkar kuralının yığın halindeki paletlere uygulanmasının zorluğundan, bazen bu durum gözden kaçabilmekte ve ürünlerin son kullanma tarihi geçebilmektedir. Bu nedenle öncelikli olarak, gönderilebilecek ürünler kontrol edilir. Son kullanma tarihi geçen ürün varsa imha edilmek üzere ayrılır, yoksa her kamyonun şoförü ve muavini sevkiyatını gerçekleştirecekleri sipariş bazlı karışık paletleri hazırlar. Hazırlanan paletler forkliftlerle kamyonlara yüklenip, sevkiyata hazır hale getirilir. Stoktan karşılanamayan talep varsa hemen üretim fabrikalarına sipariş verilerek ilerleyen günlerde sevkiyata çıkarılır.

2.2. Sistemde Gözlenen Semptomlar

Aşağıda belirtilen semptomlardan dolayı, deponun yeniden tasarlanması gerektiği saptanmıştır.

- Depoda tutulması gereken ürün miktarının tecrübe ve sezgisel olarak belirlenmiş olması nedeniyle sıklıkla ürün eksikliği yaşanması
- Depolama alanında, yerde istiflenen paletlerin yerleşim yerlerinin bir en iyileme tekniğine göre yapılmamış olması
- Depo dağınıklığı nedeniyle karışık palet oluşturmada gerekli ürünlerin, hızlı bir şekilde bulunamaması
- Üst üste istifleme sonucu, son kullanma tarihi yakın olan ürünlerin, sevkiyatta öncelik verilmesi sebebiyle, üstteki paletlerin yere indirilerek katma değeri olmayan işlemlerin tekrarlanması
- Yaz aylarında depodaki ürün miktarının artması ve kapasite yetersizliğinin ortaya çıkması

2.3 Problem Tanımı

Yukarıda belirtilen semptomlarda görüldüğü üzere;

Depoda tutulması gereken envanter miktarını belirleyen herhangi bir karar destek sistemi olmadığından, bu miktarlar sezgisel olarak belirlenmektedir. Bu durum, bazı ürünlerin depoda gereğinden fazla miktarda tutulmasına ve son kullanma tarihlerinin geçmesine sebep olurken; bazı ürünlerin de depoda gerektiği kadar tutulmamasından kaynaklı, siparişin karşılanamaması durumunu meydana getirmektedir. Ayrıca paletler dağınık bir şekilde ve yerde, bir en iyileme tekniği kullanılmadan istiflendiğinden, gelen talebe bağlı olarak karışık palet oluşturulurken gerekli ürünler kolaylıkla bulunamamakta ve bu durum zaman kaybına yol açmaktadır.

2.4 Teknik Yazın Taraması

Ekren ve Örnek (2015) çalışmalarında bir (s, S) envanter problemini benzetime bağlı optimizasyon ile çözmüşlerdir. Çalışmalarında bir kimyasal fabrikasında uygulama yapmışlardır.

Ekren (2013) çalışmasında envanter kontrol periyodunu optimize etmiştir. Bir boya fabrikasında yapılan çalışmada (s, S) envanter modelleme benzetime bağlı optimizasyon ile en iyilenmiştir. Benzetim modeli Arena yazılımında yapılmış ve en iyi stok seviyeleri belirlenmiştir.

Tanrıkulu, Şen ve Alp (2010) belirsiz talep koşullarında çok çeşitli ürünler için bir envanter modeli geliştirmişlerdir. Problemden toplam maliyeti minimize eden bir tekrar sipariş verme politikasını belirsiz talep koşullarında geliştirmişlerdir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve Varsayımlar, Parametreler

Aşağıda, araç içinde kullanılacak, girdi değişkenlerinin notasyonları özetlenmiştir:

- t : envanter planı yapılan ay, $t = 1, 2, \dots, 12$
- m : ürün tipi sayısı
- n : bir önceki yılın t . ayında gerçekleşen talep veya tedarik süresi için veri sayısı
- $X_{t-1,i}$: bir önceki yılın t . ayında gerçekleşen, i ürününün, günlük talep miktarı (rassal değişken)
- $X_{Lt-1,i}$: bir önceki yılın t . ayında gerçekleşen, i ürününün, tedarik süresindeki günlük talep miktarı (rassal değişken)
- R_{ti} : t . ayda, i ürünü için yeniden sipariş verme seviyesi
- Q_{ti} : t . ayda, i ürünü için sipariş verme miktarı
- $D_{t-1,i}$: bir önceki yılın t . ayında gerçekleşen, i ürününün günlük ortalama talep miktarı
- $\sigma_{t-1,i}^2$: bir önceki yılın t . ayında gerçekleşen, i ürününün günlük talep varyansı
- $L_{t-1,i}$: bir önceki yılın t . ayında gerçekleşen, i ürününün üretici firmadan ortalama tedarik süresi (gün olarak)
- $\sigma_{Lt-1,i}^2$: bir önceki yılın t . ayında gerçekleşen, i ürününün üretici firmadan tedarik süresinin varyansı
- D_{Lti} : t . ayda, i ürününün, tedarik süresindeki ortalama talep miktarı
- σ_{DLti}^2 : t . ayda, i ürününün, tedarik süresindeki beklenen talep varyansı
- α : siparişin karşılanma olasılığı
- β : stoktan karşılanan talep miktar oranı (fill rate)

- $n(R_{ti})$: t . ayda, i ürünün tedarik süresinde, yeniden sipariş verme seviyesini, R_{ti} , geçen miktarın beklenen değeri (stoktan karşılanamayan siparişin beklenen miktarı)
- S_{ti} : t . ayda, i ürününün güvenlik stok miktarı
- N_{ti} : t . ayda, i ürününün depoda kaplayacağı yerin beklenen değeri (adet olarak)
- C : t . ayda, depolama için ihtiyaç duyulan raf kapasitesi

3.2 Çözüm Yöntemleri

Depo tasarımı için, ilk olarak her bir ürün için depoda ayrılması gereken yerin palet (SKU) miktarının belirlenmesine karar verildi. Her ürünün yıllık envanter planı yapıldı. Bunun öncesinde ise hangi ürün tipleri için bu planın yapılacağına karar verebilmek için ABC analizi yapılmıştır.

3.2.1 ABC Analizi

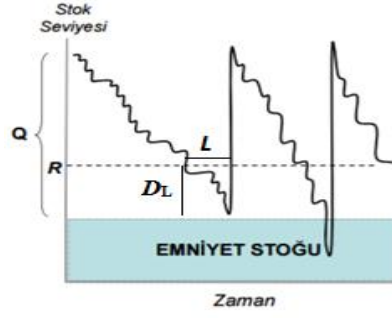
Firmadan aldığımız satış verilerini aylık olarak incelendi ve ABC analizi tüm aylar için yapıldı. Öncelikle, aylık satış verileriyle birim fiyatı çarpılarak elde edilen aylık gelir bulundu. Daha sonra her ürünün toplam gelire göre yüzdelik dağılımını hesaplandı. Bu bulunan yüzdelikler, büyükten küçüğe doğru sıralanıp %80'e kadar olan kısmı A grubu, %80-%90 arası B grubu geri kalanı da C grubu olarak belirlendi.

3.2.2 Envanter Modelleme

ABC analizi ile A sınıfı ürünlerinin belirlenmesi sonrasında envanter modelleme yapılmıştır. ABC analizi ile A sınıfı ürünlerinin belirlenmesi sonrasında envanter modelleme yapılmıştır.

Projede, envanter probleminin modellemesinde, talebin ve tedarik süresinin belirsiz olduğu durumlar için olan tekniklerden yararlanıldı.

Spesifik olarak, sürekli stok izleme tekniklerinden, (Q, R) envanter modellemeyi yararlandı (Nahmias, 2009). Talebin ve tedarik süresinin belirsiz olduğu bir envanter modelinin, stok seviyesi ve zaman ilişkisi grafiği, Şekil 2’de gösterilmiştir:



Şekil 2. Talebin ve tedarik süresinin belirsiz olduğu durumda stok seviyesi-zaman ilişkisi grafiği

Buna göre, R tekrar sipariş verme stok seviyesini, Q ise, R seviyesine ulaşıldığında, sipariş verme miktarını göstermektedir. L , ürünün sipariş verme sonrası tedarik edilme süresini, D_L ise, tedarik süresince talep edilen ürün miktarını göstermektedir.

İçecek taleplerinin koli bazında olması nedeniyle, kesikli olduğu varsayımı yapılabilecekse de biz her talep değerinin gerçekleşebileceğini varsaymak adına, talep dağılımının sürekli normal olduğunu varsayarak, çıkan değeri en yakın tamsayıya yuvarlamayı göz önünde bulundurduk. Bu varsayıma göre; normal dağılımın iki parametresinin hesabı, yani ilgili ay periyodu için, günlük talep miktarının ortalaması ve varyans değerleri hesapları söz konusu olacaktır. Bu iki parametreyi de içeren, genel bir normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu (1) ile gösterilmiştir. Burada x (talep), rassal değişkendir.

Tedarik süresinin de belirsiz (stokastik) sürekli, normal dağılıma sahip bir değişken olduğu varsayımı yapılmıştır. Burada, envanter planlaması, firmanın da talebi doğrultusunda, aylık olarak yapılmıştır. Yani, yeniden sipariş verme stok seviyesi ile, sipariş miktarı, R_{ti} ve Q_{ti}

değerleri, t . ay periyodu boyunca, sabit olacak ve tahminleme hesaplarında, bir önceki ayın ($t-1$. ayın), talep miktarları ve tedarik süre değerleri göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmıştır. X_{ti} ve X_{Lti} sırasıyla, t . aydaki i ürününün, günlük talep miktarı ile, tedarik süresindeki günlük talep miktarı rassal değişkenlerini göstermektedir. Talebin ($X_{t-1,i}$) ve tedarik süresinin ($X_{Lt-1,i}$) normal dağıldığı varsayımı nedeniyle; X_{ti} ve X_{Lti} değişkenlerinin de sürekli normal dağılıma sahip olduğu kabulü yapılmıştır. $f(x_{Lti})$ t . ayda, tedarik süresince gerçekleşen talebin, normal olasılık yoğunluk fonksiyonunu gösterir ve ortalama ve varyans değerleri sayesinde (2) ile gösterilebilir (Nahmias, 2009):

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$f(x_{Lti}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{DLti}}} e^{-\frac{(x_{Lti}-D_{Lti})^2}{2\sigma_{DLti}^2}} \quad (2)$$

(2) yi elde edebilmek için, D_{Lti} ve σ_{DLti}^2 değerlerinin sırasıyla (5) ve (6) ile tahminlenmesi gerekir. (5) ve (6) için de $D_{t-1,i}$ ve $\sigma_{t-1,i}^2$ değerleri, geçen yılın t . ay periyodunda, n adet gerçekleşen veri değerleri sayesinde, (3) ve (4) formülleri ile tahminlenir. Dikkat edilmelidir ki, (3) ve (4) formülleri ile, $L_{t-1,i}$ ve $\sigma_{L_{t-1,i}}^2$, ortalama ve varyans değerleri de hesaplanmıştır.

$$D_{t-1,i} = \frac{\sum_{j=1}^n x_{t-1,i}^j}{n} \quad (3)$$

$$\sigma_{t-1,i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{t-1,i}^j - D_{t-1,i})^2}{n} \quad (4)$$

$$D_{Lti} = D_{t-1,i} \times L_{t-1,i} \quad (5)$$

$$\sigma_{DLti}^2 = \sigma_{t-1,i}^2 \times L_{t-i} + \sigma_{Lt-1,i}^2 \times D_{t-1,i}^2 \quad (6)$$

D_{Lti} ve σ_{DLti}^2 tahminlemesi sayesinde, α oranındaki, siparişin karşılanma olasılığını karşılayan R_{ti} miktarı (7) ile hesaplanır.

$$R_{ti} = \sigma_{DLti}^2 \times Z_{\alpha} + D_{Lti} \quad (7)$$

Q_{ti} hesabı için ise, öncelikle (8) ile $n(R_{ti})$, t . ayda, i ürünün tedarik süresinde, yeniden sipariş verme seviyesini, R_{ti} , geçen miktarın beklenen değeri (stoktan karşılanamayan siparişin beklenen miktarı) hesaplanır. Sonra da (9) ile Q_{ti} , t . ayda, i ürünü için sipariş verme miktarı hesaplanır.

$$n(R_{ti}) = \int_{R_{ti}}^{\infty} (x_{Lti} - R_{ti}) f(x_{Lti}) dx \quad (8)$$

$$\frac{n(R_{ti})}{Q_{ti}} = 1 - \beta \quad (9)$$

$n(R_{ti})$ değeri hesaplanırken elde edilen normal dağılımın ortalaması 0'a ve varyansı da 1'e eşitlenerek işlem standardize edilmiştir.

Araç içindeki talep ve tedarik süre ortalama ve varyans tahmin hesaplarında, gerçekleşen güncel verilerin de işin içine alınmasıyla, büyük veri analizi de yapılmıştır. Böylece, değişen veri durumunun da yakalanarak, her ay için değişebilen dinamik, Q_{ti} ve R_{ti} değerleri hesaplanmıştır.

Ayrıca, $T_{ti} = Q_{ti} / D_{ti}$ ile, bir çevrim periyodunu, yani bir sonraki yeniden sipariş vermeye kadar geçecek süreyi ortalama olarak hesaplamak mümkündür. Bu sayede, bir ay boyunca verilen sipariş sayısı da hesaplanabilir.

Sonuç olarak, t . ayda, i ürününün depoda kaplayacağı ortalama yer (palet adedi olarak), N_{ti} , t . ayda, i ürününün güvenlik stok miktarı, S_{ti} ,

ve t . ayda, depolama için ihtiyaç duyulan raf kapasitesi, C_t , sırasıyla (10)-(12) ile hesaplanır:

$$N_{ti} = S_{ti} + Q_{ti}, \quad \forall i \quad (10)$$

$$S_{ti} = R_{ti} - D_{Lti}, \quad \forall i \quad (11)$$

$$C_t = \sum_{i=1}^m N_{ti}, \quad \forall t \quad (12)$$

Burada m , ürün tipi sayısıdır. Şayet yeni kurulacak bir bayi planlanıyorsa, C_t 'nin en büyük olduğu değer için bir kapasite yatırımı yapılmalıdır; aksi halde α , β ya da her iki değer birden değiştirilerek mevcut kapasiteyi sağlayan C_t değeri hesaplanabilir.

Yukarıda verilen bütün hesaplamalar Excel makro kodları ile bir araca dönüştürülerek, $X_{t-1,i}$, $D_{t-1,i}$, $\sigma_{t-1,i}^2$, $L_{t-1,i}$, $\sigma_{Lt-1,i}^2$, α ve β kullanıcı girdi değerleri ile, R_{ti} , Q_{ti} , N_{ti} , S_{ti} ve C_t değerlerini çıktı değerlerini üretmesi sağlanmıştır. Bu girdi değerleri araçta, aylık olarak güncellenmiştir. Yapılan hesaplamaların makro tabanlı bir araca doğru entegresinin test edilmesinde, küçük bir talep ve tedarik süresi veri grubu yaratılarak, öncelikle elle çözümlenerek, sonuçların araç tarafından üretilenlerle aynı olup olmadığı karşılaştırılması yöntemi izlenmiştir.

Dikkat edilmelidir ki, burada izlenen yöntemde maliyetler göz ardı edilmiş; bunun yerine bayinin de önceliği olan müşterilere talepleri zamanında ulaştırmayı amaçlayan hizmet seviyelerine (α , β) bağlı olan envanter modeller baz alınmıştır. (Nahmias,2009)

(Q , R) modeli, envanter seviyesi kontrolünün sürekli olduğu varsayımı altında kurulmuştur. Fakat gerçekte depo envanter seviyesi periyodik olarak kontrol edileceğinden (s , S) politikasına dönüştürülmüştür ve S ile s değerleri, (13) ve (14) formülleri ile hesaplanmıştır. (Nahmias, 2009)

$$S=R_{ti}+ Q_{ti} \quad (13)$$

$$s=R_{ti} \quad (14)$$

Bu politikaya göre kontrol anındaki envanter miktarı (u), s 'ten küçük ya da s 'e eşit ise ($S-u$) kadar sipariş verilir, s 'ten büyük ise sipariş verilmez. Bu politika şu şekilde de gösterilebilir:

Eğer $u \leq s$, $S-u$ kadar sipariş ver

Eğer $u > s$, sipariş verme

Envanter planlaması yapılması ile gerekli raf kapasitesi belirlendikten sonra hangi ürünlerin raflarda nerelere depolanması gerektiği hesabı için ürün benzerlik matrisi oluşturulmuştur. Ayrıca, bu matris sayesinde yerde istiflenecek B ve C sınıfı ürünlerin de hangi sıra ile istiflenmesinin uygun olacağı da ortaya çıkmıştır.

3.3 Karar Destek Sistemi

Yukarıda bahsedilen çözüm yöntemi, Excel VBA ile kodlanarak bir karar destek sistemine dönüştürülmüştür. Ürün tipi, satış miktarları, tedarik süreçleri dahil istenilen tüm değişkenler sisteme tanıtılmış, karar destek sisteminin ABC analizi ve envanter planlaması yaparak her ürün için kapasite planını kolayca ve hızlı bir şekilde yapması, buna bağlı olarak da depo tasarımını yapması sağlanmıştır.

4. Sayısal Sonuçlar

Ürünlerin ABC analizi yapıldıktan sonra, her bir ürün için yeniden sipariş noktası, sipariş miktarı, sipariş verme periyodu ve kapasite hesaplandı. Örneğin, Sparkling Coca-Cola Can (1x24) 330 ML ürünü ABC analizi verileri incelendiğinde en çok satışı haziran ayında yapmıştır ve toplam gelirin %15'lik kısmını oluşturmaktadır. Verilerin hesaplanması sonucu yeniden sipariş verme noktası 3478 koli, sipariş miktarı 518 koli; gerekli güven stoğu miktarı 2038 koli ve bu ürün için

ayrılması gereken kapasite 2555 kolidir. Hesaplamalar sonucu envanter kontrol periyodu 0,71 olarak bulunmuştur. Tır kapasitesini doldurabilme amaçlı, aynı tedarikçiden gelen ürünlerin eş zamanlı gönderilebilmesi amaçlı, sipariş verme periyodu bir üst tamsayı değere yuvarlanmıştır. örneğin, Sparkling Coca-Cola Can (1x24) 330 ML için depoda kaplayacağı alan, 2758 koli, dolayısıyla “s” miktarı 3478 koli “S” miktarı 4200 koli olarak hesaplanmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu projede, Coca-cola İçecek A.Ş. Urla/İzmir dağıtım deposu için, envanter modelleme ile, bir raf kapasite belirleme ve tasarım çalışması yapıldı. Bu sayede, envanter modelleme ile belirlenen kapasiteye bağlı olarak, hangi ürünlerin hangi alanlarda, ne şekilde depolanacakları belirlenmiştir. Bunun için Excel-makro tabanlı bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Proje ile depoda kurulması belirlenen raf tasarımını, yaz aylarında A sınıfı ürünler için kullanabilecekken, raf kullanım oranının düşük olabileceği kış aylarında B sınıfının da raflarda depolanabilme ihtimali araştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

Heragu, S. S. (2008). Facilities Design - CRC Press.

Nahmias, S. (2009). Production and Operations Analysis-McGraw-Hill
(6.baskı).

Tanrikulu, M., Şen, A. ve Alp, O. 2010. “Adjoint replenishment policy with individual control and constant size orders”, International Journal of Production Research 48(14), 4253-4271.

Ekren, B. 2013. “Determining Optimum Review Policy for Floor Stock Items in a Paint Production Environment”, International XI. Logistics and Supply Chain Congress.

Ekren, B. ve Örnek, M. 2015. “Determining Optimum s S Levels of Floor Stock Items in a Paint Production Environment”, Simulation Modelling Practice and Theory, 57(), 133-141.

Malzeme Besleme Sisteminin Analizi

Delphi Otomotiv Sistemleri

	Proje Ekibi	
Aykut Feran	İmge Şipkan	Nazlı Özen
Ersel Yayla	Merve Avcı	Özde Öcal

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

	Akademik Danışman	
Prof. Dr. Sencer Yeralan	Araş. Gör. Mert Paldrak	Araş. Gör. Damla Kesikburun

Şirket Danışmanı
Bülent Akyıl
Orçun Can Ceviz

ÖZET

Üretimi besleyen malzeme sisteminde dinamik bir sistemin eksikliği, optimal rotaya ve işgücü değerlerine ulaşmakta zorluklara neden olmaktadır. Bu projenin amacı, çok duraklı malzeme dağıtım sürecinde talepleri karşılayacak şekilde, araç kapasitelerinin mümkün olduğunca iyi kullanılmasını sağlayan ve hedeflenen sürede malzeme dağıtımını tamamlayan araç rotalarını, işgüçlerini eşitleyerek oluşturmaktır. Öncelikle, bu raporda firma hakkında kısa bilgiler verilmekte ve projenin yürütüldüğü bu şirketteki mevcut sistem açıklanmaktadır. Ele alınacak problemin daha iyi anlaşılabilmesi için fabrikadaki süreç ve işlemlerin analizinden bahsedilmiştir. Bu kapsamda problemi çözmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Aynı zamanda bir karar destek sistemi de oluşturulmuştur. Verilerin büyüklüğü nedeniyle sezgisel bir yaklaşımla çalışmalara devam edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: İşgüçlerinin eşitlenmesi, fabrika içi lojistik, dinamik çözüm sistemi

GİRİŞ

Delphi sistemlerinin geçmişi, 1970'de Türkiye'de Dizelsan'ın kurulmasıyla başlamıştır. Dizelsan, 1990 yılında "Lucas Dizel sistemleri"ne katılmıştır. "Lucas Diesel sistemleri" 2001 yılında Delphi tarafından satın alınmış ve ardından şirket "Delphi Otomotiv Sistemleri Endüstri ve Ticaret Inc" adını almıştır. Üretim tesisi olan İzmir fabrikası ise 1997'de üretime başlamıştır. Delphi, dünyanın en büyük otomotiv parça tedarikçilerinden biridir. Farklı kıta ve ülkelerde geniş ürün yelpazesi ile hizmet vermektedir.

Her imalat şirketi, maliyetlerini en aza indirmek, karı en üst düzeye çıkarmak ve verimliliği artırmak için ürünlerini, makinelerini veya çalışma istasyonlarını insan gücü ve diğer kaynakları göz önüne alarak üretim sistemlerini belirlemektedir. Delphi'nin üretim alanında, yalın üretim ve Kaizen felsefesini benimsemiş ve mükemmelliği yakalamak için her işlem, her akış iyileştirilmeye açıktır. Yapılacak her iyileştirmenin sürekliliğinin sağlanabilmesi için çalışanların katılımıyla tüm birimlere yaygınlaştırılması gereklidir ve malzeme besleme aşamalarında da bu iyileştirmeler önem taşımaktadır. Bu doğrultuda fabrikadaki mevcut durum analiz edilmiş ve fabrika içindeki lojistiği sağlayan taşıma operatörlerinin hedeflenen sürede ve dinamik bir sistem ile çalışması gerektiği belirlenmiştir.

1. Genel Sistem Analizi

Delphi Packard Elektrik Sistemleri, Delphi Otomotiv Sistemleri Şirket'ine bağlı olarak faaliyet göstermektedir. Delphi, ana merkezi Michigan, Amerika'da olan ancak dünyanın birçok yerinde faaliyet gösteren bir kurumdur. Yoğun olarak, mobil elektronik ve taşıma sistemlerine tedarikçi olarak yer almaktadır. Ana çalışma alanları;

- **Elektrik/Elektronik Sistemleri** - Kablo Ağları, Bağlantı Elemanları

- **Güvenlik ve Kontrol Sistemleri** - Araç Bilgisayarları, Kontrol Panelleri
- **Dinamik, Güç ve Isı Sistemleri**
- **Direksiyon ve Araç Yönetimi**
- **Bireysel Mobil Teknoloji Araçları** - Navigasyon Teknolojisi, Satelit Radyo
- **Ticari Taşıma Araç Sistemleri**
- **Sağlık Sistemleri** - Interaktif Hasta Takip Sistemleri

Delphi 171 tesisi, 42 ortak girişimi, 33 Teknik Servis Merkezi, 53 Müşteri Merkezi, 19.000 Bilim Adamı & Mühendisi, 173.000 çalışanı ile 44 ülkede faaliyet göstermektedir. Avrupa ve Orta Doğu'da 49 fabrika, Kuzey Amerika'da 37 fabrika, Asya'da 33 fabrika ve Güney Amerika'da 7 fabrika ile dünyanın farklı bölgelerinde üretime devam etmektedir. 2015 yılı yıllık verilerine göre toplam net satış değeri 15.165 \$'dır. Toplam borçlar ve özkaynaklar 11.973 \$ 'dır. Dönen varlıklar is 5.121 \$ değerindedir.

Delphi Packard Elektrik Sistemleri, Türkiye'deki üretimini Bursa ve İzmir fabrikasında sürdürmektedir, İstanbul'da ise teknik servis hizmeti vermektedir. Bu tesisler hem organizasyonel hem de operasyonel olarak birbirine bağlıdır.

İzmir fabrikası, Ege Serbest Bölgesi'ndeki tesislerinde 20.200 m² lik toplam alan içerisindeki 15 üretim bandında otomotiv kablo ağı (harness) üretimini gerçekleştirmektedir. Bünyesinde 1650 mavi yakalı, 160 beyaz yakalı olmak üzere toplam 1810 personel bulundurulur. Yapılan yeni yatırımlar ve iyileştirmelerle kurulu kapasitesini 11.160.692 kablo ağı/yıl'a çıkarmıştır. Kullanılan kapasite ise 10.629.231 kablo ağı/yıldır.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut sistemin analizi

Fabrikada etkin bir çekme sistemi kullanılmaktadır. Çekme sistemi müşterinin siparişi doğrultusunda üretim yapılmasını sağlar. Böylece hem ürün müşteriye zamanında ulaşır hem de bitmiş ürün stoğu oluşmaz. Kanban kartları çekme sisteminin en büyük destekleyicisidir.

Fabrika içerisinde kablo ağı (harness) üretimi temel olarak üç aşamadan geçmektedir.

Düşük hacimli üretimler için üretimin kesme aşamasında siparişe göre üretim sistemi uygulanır. Müşteri talebi kadar kesme yapma esasına dayanır. “Order Production System” diye adlandırılan bir bilgisayar sistemi kullanılır. Bu program “Cutting Order” denilen, setup sırasının ve günlük kesme adetlerinin bulunduğu sıralı iş emirlerini verir. Bu iş emrinde tüm setup değişiklikleri renklendirilmiş olup operatör için görsel uyarı niteliğindedir. Operatör tüm işlemleri “Cutting Order” a göre yapar. Kesme işlemi bittikten sonra program “Lead” etiketi verir. Bu etiket üzerinde kit adresleri yer alır. Buna göre operatör kabloyu nereye götürmesi gerektiğini anlar. Kesilmiş kablolar saatlik rotalarla hatlara taşınır.

Kesme işleminden sonra montaj hattını besleyen kitler (yarı mamüller) üretilir. Bu kısımda ise üretim ”Kitting Order” denilen iş emrine göre yapılır. Bu iş emrinde üretimi yapılan kitin tüm bilgileri kayıtlıdır. (Seri numarası, üretim miktarı, kit çeşidi, çalışılan iş istasyonu vs.) Operatörler bu iş emrinin üzerinde bulunan barkodu sisteme okutur ve üretim bu bilgilere göre gerçekleşir. Üretilen kitler, yarı mamüllerin taşındığı üçgene asılır. Montaj bölümü ise bu üçgenden kiti alır. Boş kalan kısım ise “yarı mamul üretimi ihtiyacı” anlamını taşır.

Montaj kısmında kablo ağının iş emri “Production Order” lara göre yapılır. Yine bu kısımda da iş emri operatörün ne yapacağını belirtir.

Kitler bu iş emirlerine göre birleştirilir ve son ürün (kablo ağı) meydana gelir.

“Katı kanban kesme sistemi” ise üretim hacmi yüksek olan projeler için kullanılır. Kesme makinesine üretim emri kanban kartı ile verilir. Kesme makinesine ekipman ve malzeme talepleri bu kartlara göre yapılır. 20 haftalık uzun dönem üretim planında üretimi olan parça numaralarının tüm kablolarına yer tanımlanır. Atamalı sistem geçerlidir. Her makine için kesilecek kablolar o makineye atanmıştır. Kesilecek miktar (parti miktarı) kesin olarak tanımlanmıştır. Süpermarket raflarında her kablo için nokta ve adres tanımlıdır. Bu sistem hatta malzeme taşıyan operatörlerin kabloları kolay bulmasını sağlar. Kanban kartı yardımıyla sipariş noktası görsel olarak kolayca görülebilecek şekilde işaretlenir. Bu kanban kartı kesme operatörü için kesme emri anlamına gelir. Kanban kartında üretilen demet miktarı, şekli, kesilecek kablo adedi, kesim işleminin yapılacağı makine numarası gibi iş emrine benzer her türlü bilgi bulunmaktadır.

Üretimi besleyen malzeme sistemi, çift kutu yöntemi ve kanban kartları ile çalışmaktadır. Bu kutulardan bir tanesi üretime, diğeri ise koridora bakacak şekilde mevcut üretim hattına yerleştirilir. Üretim operatörü kendi tarafındaki kutudan malzeme kullanır. Kutu içindeki malzeme bitince Kanban kartı boş kutu içerisine konularak yere bırakılır. Bu kartlar ve boş kutular malzeme taşıma operatörü tarafından toplanarak envanter alanına taşınır. Envanter alanındaki malzemeler montaj hatlarına aktarılınca kadar FIFO kuralları dikkate alınır. Envanter alanı girişinde kartlar ve malzemeler gideceği rotaya uygun olarak sıralanır. Kart okuma sistemine Kanban kartları gösterilir. Ve bu kart sırasına göre malzemeler taşıma arabasına yerleştirilir. Envanter alanında toplanan malzemeler üretim hatlarına dağıtılmak üzere belli bir rota üzerinde ilerlenir. Fabrikada, taşıma araçlarının iş istasyonları ve ara stok alanları

bellidir. Hat besleme bu noktalardan gerçekleştirilir. Burada dikkat edilmesi gereken, her bir istasyonda bir kez durmak ve aynı istasyona tekrar geri dönmektir. Tüm malzemeler dağıtılır ve boş kutular ile beraber Kanban kartlarında toplanarak envanter alanına tekrar gidilir. Hat besleme turları vardiya değişimine kadar bu şekilde devam eder.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Şirket tarafından belirlenen malzemelerin ana stok alanından üretim alanına dağıtılması için taşıma operatörleri kullanılmaktadır. Şirket ile yapılan yapılan toplantılar ve gözlemler sonucunda mevcut sistemde operatör tarafından matematiksel bir model veya sistem kullanılmadan rotalar manuel olarak tasarlanmıştır. Ayrıca operatörlerin belirlenen rotaları takip etmediği de gözlemlenmiştir. Belirlenen rotaların yerine, kendileri için kolay olan rastgele seçtikleri yolları kullanmaktadırlar. Geçerli rotaları anlamak için videolar çekilmiştir. Bu videolar, ana envanter alanından montaj alanına kadar olan tek rotalık süreci içermektedir. Kanban kartlarını çekme, malzemeleri Kanban kartlarına bağlı olarak toplama, boş kutu alma ve ana envanter bölgesine geri dönme adımlarını içeren videolar analiz edilmiştir. Ayrıca bu videolar da karşılaşılan sorunlar net bir şekilde tespit edilmiştir.

Ana envanter alanında, taşıma aracını dolduran operatörlerin yollar üzerinde karşılaşmalar yaşadıkları gözlemlenmiştir ve bu durumun zaman kayıplarına yol açtığı saptanmıştır. Rotalarını erken tamamlayan taşıyıcılar boşta kaldıkları zamanlarda verimlilik yüzdesinin düşük olmasına neden olmaktadır. Daha önceden hesaplanan ve rotayı oluşturmak için kullanılan mesafe değerleri güvenilir değildir. Böylece istasyonlar arasındaki mesafeler yeniden hesaplanır.

Delphi'den elde edilen bilgilere göre, alanlarda operatörler tarafından belirlenen yedi rota var. Yerleşim çizelgesi üzerinde tekrar belirlenmiştir.

Tüm bu gözlemler ve toplanan veriler neticesinde ana envanter – montaj hattı arasındaki operatörlerin iş gücü hesaplarının tekrar yapılması ve manuel hesaplamalarının dışında bir sistem oluşturulması gerektiği saptanmıştır.

Şirketten alınan veriler doğrultusunda manuel yapılan hesaplamaların Excel programı üzerinden nasıl yapıldığı incelenmiştir. 5000'e yakın malzeme bulunduğu ve bunların kullanıldığı hat istasyonları, malzeme frekansları ve iş gücü hesaplamaları için gereken veriler toplanmıştır.

2.3 Problemin tanımı

Belirli montaj alanı düzenine bağlı olarak, ana envanter alanından taşıma operatörü tarafından montaj hatlarına giden rotaların belirlenmesi ve bu rotalara bağlı taşıma operatörlerinin iş gücü hesaplarının dinamik bir sistem ile yapılması.

Montaj hatlarının malzeme besleme istasyonlarına gerekli malzemelerin taşınmasından taşıma operatörleri sorumludur. İstasyonlar bazı alt gruplara bölünmüştür ve bunların her biri bir operatöre atanmıştır. Taşıma operatörleri arasındaki iş yüklerinin dengesizliği nedeniyle malzeme besleme operasyonlarında gözlenen bazı sorunlar vardır. Ana envanter alanında yaşanan problemler de taşıma operatörlerini etkilemektedir. Kanban kartlarına bağlı olarak taşıma aracının doldurulma süresinin sabit olmaması ve yürüme mesafelerinin farklılık göstermesi iş gücü hesaplamasında değişken değerlerdir.

Mevcut manuel iş gücü hesaplamasında her operatör için teker teker yürüme mesafeleri hesaplanıp haftalık veya dönemsel olarak değişiklik yapılmaktadır. Manuel sistemin kullanılması değişiklik dönemlerinde veya bazı montaj hatlarının kapalı olduğu zamanlarda tamamen taşıma operatörünün isteğine bağlı olarak rota belirlenmesine ve herhangi bir denetleme yapılamamasına neden olmaktadır.

Problem tanımına bağlı olarak ana envanter ve montaj alanı arasındaki taşıma operatörlerinin iş gücü hesaplarının belirli bir karar destek sistemine bağlı olarak yapılmasına karar verilmiştir.

2.4 Teknik yazın taraması

Prakash ve Kumar (2011)'a göre yalın üretim; “Sürekli iyileştirme için israfları belirlemek ve elemek, ürünleri müşteri istediğine göre çekmek, mükemmelliğin peşinde olan bir sistematik yaklaşım”dır (Prakash ve Kumar, 2011). Yalın üretimin amaçları işyükü ve stok alanlarındaki israfları azaltmak, zamanında pazara ulaşabilmektir. Üretim stokları, kaliteli ürünleri en verimli ve ekonomik biçimde üretirken müşteri taleplerinden sorumludur (Bhim et al, 2010). Yalın üretim, mümkün olan en düşük maliyetle ve en kısa sürede ürün üretmeyi ve hizmet vermeyi hedeflemeye ve verimliliğe odaklanmaktadır. Kanban da yalın üretimin bir parçasıdır. Yalın üretim için Kanban, üretim miktarlarını en basit şekilde kontrol etmeye yarayan araçtır. Dolayısıyla üretim alanında Kanban, üretim alanında tekrarlı kullanılan malzemelerin tekrar doldurulmasını sağlayan araçlardır (Balram, 2003). Kanban sistemi, hangi malzemedен ne kadar ve ne zaman üretileceğini ve nereye taşınacağını kontrolü için kullanılan bir üretim kontrol sistemidir. Ayrıca Kanban, kartlarla ürün ve bilgi akışını sağlamaktadır. Hobbs, Kanban sisteminin amacının envanterin hızlı bir şekilde üretim sürecine taşınması olduğunu savunmaktadır (Hobbs P. 2004). Araştırılan teknik yazınlara göre Kanban sisteminin kurulmasında önemli belirleyiciler vardır. Bu sistemin başarılı olmasını sağlamak için stok yönetimi, tedarikçi katılımı, kalite iyileştirmeleri ve kalite kontrolü, çalışan ve üst yönetim sözleşmeleri gibi belirli faktörler düşünülmelidir. (Kumar, 2010). Dantzig ve Ramser (1959), bir tır filosunun merkezi bir yerden benzin istasyonlarına minimum seyahat mesafesiyle, kaç tanesine nasıl hizmet edeceğini modellendiren tır sevkiyat problemi oluşturmuşlardır.

Beş yıl sonra, Clarke ve Wright (1964), bu problemi lojistik ve ulaşım alanında çoğunlukla karşılaşılan doğrusal bir en uygun şekle sokma problemine, başka bir deyişle, çeşitli kapasitelere sahip bir tır filosu kullanarak merkezi bir depodan müşterilere nasıl hizmet veririm problemine dönüştürmüşlerdir. Bu, yöneylem araştırması alanında en kapsamlı olarak incelenen konuların başında gelen “Araç Rotalama Problemi” olarak bilinmektedir. Bununla birlikte, günümüzdeki ARP modelleri, Dantzig ve Ramser (1959) ve Clarke ve Wright (1964) tarafından geliştirilen modellerden farklıdır; bunlar gerçek zamanlı karmaşıklıkları; zamana bağlı seyahat süreleri, teslim alma gibi. Bu nedenle ARP dinamik olarak değişen girdilere sahiptir. Sezgisel yöntemler ve metasezgisel uygulamalar pratik uygulamalar için daha uygundur. Gerçek hayat problemleri ölçek bakımından oldukça büyüktür.

Kapasiteli ARP, olarak da bilinen standart ARP her aracın yalnızca bir rotaya sahip olduğu, her aracın aynı özelliklere sahip olduğu ve yalnızca bir tane merkezi depolama bulunduğu en uygun teslimat yollarını bulmayı amaçlar (Agra et al. 2013; Vidal et al, 2013).

Çevik üretim, müşterilerin istediği ürünler ve hizmetlerle yönlendirilen piyasalarda hızlı ve etkin bir şekilde tepki göstererek, sürekli rekabet ortamında ayakta kalma ve gelişme kabiliyetidir. Çevik üretim, firmaların rekabet gücünü arttırmaya yöneliktir. Temelli üretim süreçleri, ürün tasarımı, imalat, pazarlama ve destek hizmetleri için müşteri, tedarikçi bütünleşmiş süreci ile karakterize edilir. Bu işlevsel bilgi seviyelerinde karar verme, istikrarlı birim maliyetleri, esnek üretim, bütünleşmiş verilere kolay erişim ve modüler üretim tesisleri gerektirir. Çevik üretim müşteriye zenginleştirmeyi, rakiplerle işbirliği yapmayı, değişikliği, belirsizliği ve karmaşıklığı yönetmek, insanlar ve bilgileri kullanmak için organize olmayı gerektirir. Çevik üretimin amaçları:

- Kilit stratejileri ve teknikleri belirlemek

- Gelecekteki araştırma yönergelerini önermek
- Stratejileri, teknolojileri, sistemleri ve insanları içeren dört temel boyutta çevik üretim sistemlerinin geliştirilmesi

Çevik üretim, ürün çeşitliliğini verimli bir şekilde üretebilecek ve ürün karması ve ürün tasarımlarındaki değişiklikleri zorunlu kılmak için yeniden yapılandırılacak bir üretim sistemi ister. Üretim sistemi yeniden yapılandırılabilir ve çevik üretimde ürün çeşitliliği önemlidir. Çeviklik fikrinin, montaj tasarımında bir etkisi vardır. Çevik montaj için tasarım, montaj sistemlerinin operasyonel konularını erken ürün tasarım aşamasında dikkate alarak gerçekleştirilir.

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

Kısıtlar: Tüm istasyonlar yalnızca bir kere ziyaret edilmelidir. Alt turların kısıtlaması ortadan kaldırılmalıdır. Depodan en fazla bir araçla dağıtımına gidilmelidir.

3.2 Matematiksel model

N_k = Toplam taşıma operatörü sayısı

N_i = Toplam malzeme sayısı

N_j = Toplam istasyon sayısı

T = Toplam period (Vardiya)

C = Araç Kapasitesi

D_{ij} = j istasyonuna taşınan i ürünü için istenilen üretim miktarı

S_i = Kutu tipi

L_i = i malzemesinin kutuya yüklenme süresi

X_{ijkt} = K taşıma operatörünün i tipi malzemeyi j istasyonuna t periyodunda taşıma miktarı

I_{ijt} = t periyodu j istasyonunda i malzemesinin envanter miktarı

W_t = Yürüme süresi

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Min } \sum_j \sum_k X_{ijkt} * Li/1 - W_t$$

Kısıtlar;

$$\sum X_{ikt} * S_i \leq C \quad (1) \text{ Araç Kapasitesi}$$

$$\sum_{n=1}^{Nk} X_{ijkt} * L_i \leq 1 - W_t \quad (2) \text{ Taşıyıcının 1 turunu bir saatte tamamlaması}$$

$$\sum \sum_{Nt} X_{ikt} \geq \sum_{j=1}^{Nj} D_{ij} \quad (3) \text{ Taşınan malzemenin istasyonlardaki talebi karşılması}$$

$$I_{i,j,t+1} = I_{i,j,t} + \sum_k X_{ijkt} - D_{ij} \quad (4) \text{ Malzemenin t+1 zamanındaki envanter miktarı}$$

3.2.1 Çözüm yöntemi

Projenin amacı dinamik bir sistem kurmak ve karşılaştıkları bu problemleri hızlı bir şekilde çözmektir. Kesin algoritmalar makul bir zamanda çözememektedir. Bu nedenle bir sezgisel yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Probleme uygun sezgisel bir yöntem için teknik yazım taraması yapılmıştır. Probleme eşdeğer bir sezgisel yöntem bulunamamıştır. Buna bağlı olarak bir sezgisel yaklaşım geliştirilmiştir. Bu geliştirilen sezgisel yöntem VBA kodları kullanılarak optimal sonuca en yakın değerlerin bulunması amaçlanmıştır.

4. Sayısal Sonuçlar

Proje başlangıcında oluşturulan oyuncak problem ile şirket tarafından manuel yapılan işlem, daha küçük veriler kullanılarak bir sezgisel yöntem belirlenmiştir. Bu hesaplama sonucunda elde edilen değerler şirketin hesaplamalarına göre daha hızlı sonuç vermiştir. VBA kodları ile oluşturulan modelde ki sonuçlar ile şirket tarafından yapılan iş gücü hesabı karşılaştırılacaktır.

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Proje verilerinin büyük olması nedeniyle küçük veriler kullanılarak sezgisel bir yöntem belirlenmiştir. 3 İstasyon, 6 Malzeme kullanılarak yapılan bu sezgisel de bütün parametreler minimize edilerek t=0 anında ki talep ve elde bulunan malzeme miktarı göz önünde bulundurularak taşıma operatörlerinin dağıtması gereken malzemeler belirlenmiştir. Buna bağılı iş gücü için oluşabilecek en yüksek limit belirlenmiştir ve t=n anına kadar oluşabilecek matrixlere bağılı olarak optimuma en yakın iş gücü hesabı yapılmıştır. Kullanılan bu sezgisel ile is gücünde oluşan dengesizlikler giderilebilecektir.

Yapılan sezgisel analiz sonucunda en yüksek limiti aşan veya altında kalan işgüçlerinin dengelenmesi hedeflenmiştir

Tablo 1. Turların İş Gücü Hesabı

En Yüksek Limit	45%
1	49,80%
2	33,33%
3	42,46%
4	42,46%
5	51,59%
6	28,77%

4.2 Karşılaştırma ve uygulama: KDS

Projenin başlangıç aşamasında, taşıma operatörlerinin rotaları tamamen elle hesaplanan bir yöntem ile belirlenmektedir. İş gücü hesaplarıda buna bağılı olarak dinamik bir sistem yerine daha sabit değerler ile uzun dönem aralıklarında yapılmaktadır. Projenin gelişim aşamasında şirketle yapılan görüşmeler sonucunda kullanılan hesaplama yönteminin daha dinamik bir sistem haline getirilmesi ve buna bağılı bir karar destek sistemi yapılmasına karar verilmiştir.

Tüm bunlar için arka planındaki VBA kodları sayesinde tek bir tuşla kısa sürede gerçekleştirebilen bir karar destek sistemi (KDS) tasarlanmıştır. Programdaki başlangıç ekranında malzeme tanımı (ID numarası), istasyon adı, kutu tipi, malzeme frekansı girilerek kısa süre içerisinde o vardiya için iş gücü hesabına ulaşılabilmektedir. Projenin başında planlananlar doğrultusunda bir saatten çok daha az bir sürede hedeflenen istasyonlara istenilen malzemeler taşınabilir hale getirilmiştir. Modelin arka planındaki veriler yenileriyle değiştirildiğinde programda yer alan bütün değerler kendiliğinden değişip yeni veriler ile hesaplama yapabilecek duruma getirilmiştir. Kullanıcıların dinamik olarak programı kullanabilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca program için oluşturulan kullanım kılavuzu sayesinde kullanıcıların herhangi bir sorun yaşamaması sağlanmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu proje teorik ve pratik olarak iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, şirketin işleyiş sistemi incelenmiş ve üretim yaklaşımları belirlenmiştir. Analizler şirket tarafından benimsenen yalın üretim yöntemlerine göre yapılmıştır. Şirkette yapılan analizler ve gözlemler sonucunda problem net bir şekilde tespit edilmiştir. Sorun, belirlenen konuya göre tanımlanmıştır. Ana Envanter alanından Malzeme Besleme noktalarına taşıma operatörlerinin dengeli bir iş yükü altında çalışmadığı gözlemlenmiştir. Minimum operatör sayısını saptamak için bir çözüm yöntemi belirlemek ve aynı zamanda minimum mesafeyi kullanmak için çalışmalar yapılmıştır. Teorik olarak yapılan çalışmalar sonucunda bir matematiksel model oluşturulmuştur. Ancak problemin kapsamı ve kullanılan verilerin büyüklüğüne bağlı olarak sezgisel bir yöntem ihtiyacı duyulmuştur. Şirketin istekleri doğrultusunda yapılan karar destek sistemiyle mevcut durum dinamik hale getirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Agra, A., Christiansen, M., Figueiredo, R., Hvattum, L. M., Poss, M., & Requejo, C. (2013). The robust vehicle routing problem with time windows. *Computers & Operations Research*, 40(3), 856–866.
- Balram, B., 2003. Kanban systems: The Stirling Engine Manufacturing Cell, University of Manitoba, Department of Mechanical & Industrial Engineering
- Shahram, T., 2007. Lean manufacturing performance in China: assessment of 65 manufacturing plants, Vol.19, No. 2, p. 217-234.
- Bhim, S., Garg S.K., Sharma, S.K., Grewal, C., 2010. Lean implementation and its benefits to production industry, *International Journal of Lean Six Sigma*. Vol. 1, No. 2, p 157-168.
- Gregory, G., Anders, Y., Zverovich, A., Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP, *Discrete Applied Mathematics*, 2002, 117(1-3): 81-86.
- Hobbs P. 2004. The Kanban Methodology. *Lean Manufacturing Implementation*, J. Ross Publishing. Page.28-31.
- Prakash, D., Kumar, S., 2011. “Implementation of Lean Manufacturing Principles in Auto Industry”, *Industrial Engineering Letters*, Vol 1, No.1, 2011.
- Vidal, T., Crainic, T. G., Gendreau, M., & Prins, C. (2013). A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problems with time-windows. *Computers & Operations Research*, 40(1), 475–489.
- The Traveling Salesman Problem:A Computational Study
David L. Applegate, Robert E. Bixby, Vasek Chvátal & William J. Cook

Gemi Filo Dağıtımı ve Hız Optimizasyonu Problemi

Arkas Konteyner Taşımacılık A.Ş.
BİMAR Bilgi İşlem Hizmetleri A.Ş.

Proje Ekibi

Ezgi Acar, Atacan Peker
Efe Kenan Keskiner, Hazel Puza, Zeynep Gürmen

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanları

Eşref Akpınar, Ceyhun Güven

Akademik Danışmanlar

Öğr. Gör. Dr. Efthymia Staiou, Araş. Gör. Sel Özcan Tatari
Yaşar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede, layner taşımacılık firmaları için önem taşıyan filo dağıtımı ve hız optimizasyonu problemleri ele alınmıştır. Arkas Line için toplam maliyeti enazlamak ve gemilerin kapasite kullanım oranını arttırmak için filodaki mevcut gemilerin uygun servislere atanmasını sağlayan ve atanan her gemi için en uygun hız değerini bulan bir matematiksel model geliştirilmiştir. Oluşturulan matematiksel model, oyuncak verilere sahip bir problem için çözümlenerek kontrol edilmiş ve bu sayede modelin doğruluğu ve geçerliliği onaylanmıştır. Yakıt tüketim maliyetlerini, limanlarda ödenen ek taşıma giderlerini (disbarko) hesaplayan, sefer süresine bağlı olarak gemilerin limanlar arası hangi hızlarla seyretmesi gerektiğini gösteren bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Filo Dağıtımı, Hız Optimizasyonu, Karar Destek Sistemi

1. Genel Sistem Analizi

Arkas, 1902 yılında Gabriel J. B. Arcas tarafından ithalat organizasyonu olarak İzmir'de kurulmuştur. Şirket, 1944 yılında Lucien Gabriel Arcas'ın öncülüğünde uluslararası taşımacılık faaliyetlerine başlamıştır. Arkas, 1978'de Türkiye'den Avrupa'ya ilk konteyner taşımacılığını gerçekleştirmiştir ve 1979 yılında anonim şirket oluşumunu Arkas Denizcilik ve Nakliyat adını alarak tamamlamıştır. Arkas Line, 1996 yılında EMES Denizcilik ve Nakliyat A.Ş. adıyla kurulmuş konteyner hat taşımacılığında Türkiye'ye ait ve Türk bayrağıyla hizmet veren ilk firmadır. 2010 yılında taşımacılık şirketinin adı Arkas Konteyner Taşımacılık A.Ş. olarak değiştirilmiştir. Günümüzde, Arkas Line marka ismini kullanarak hizmetlerine devam etmektedir (Arkas, 2017). Projemiz, Arkas Line firması için Arkas firmasının yazılım geliştirme ve sistem entegrasyonu faaliyetlerini gerçekleştiren Bimar Bilgi İşlem Hizmetleri A.Ş. ile yürütülmüştür.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

Bu bölümde, şirketin mevcut sistemi kapsamlı olarak açıklanmakta, problemimiz ayrıntılı olarak tanımlanmakta ve konu ile ilgili gerçekleştirdiğimiz teknik yazın taraması belirtilmektedir.

2.1 Mevcut sistemin analizi

Arkas Line, müşterilerine 50 gemiden oluşan filosuyla dünya çapında 29 farklı serviste hizmet vermektedir. Servisler, uğranacak limanlara göre belirlenen rotalardır. Önceden hangi limanlara hangi sırayla uğranacağı bilinen her servisin belirli bir frekansı vardır. Sefer sıklığı olarak da isimlendirilen servis frekansı, bir seferin tamamlama süresindeki sapmalardan değişiklik gösterir. Bu sapmalar genelde hava koşullarından ya da limanlardaki sıkışıklıklardan dolayı kaynaklanmaktadır ve gemiler, hızlarını sefer süresince ayarlayarak beklenen frekansı sağlamaya çalışmaktadır. Arkas Line'ın isteği üzerine,

bu proje kapsamında filodaki 29 gemi arasından altı ana servis üzerine çalışılması planlanmıştır. Filonun dağıtımı, taktiksel düzeyde verilen bir karar olup, Arkas Line Konteyner Yönetimi ve Kontrol bölümünde yer alan tecrübeli kişiler ve yönetim kurulunun da katılımlarıyla, aylık olarak gerçekleşen toplantılar ile uzun vadeli planlar yapılmaktadır. Bununla birlikte, gözlemler doğrultusunda mevcut planda bir revizyon gerektiğinde ise, düzeltmeler yine manuel olarak yapılmaktadır. Bu güncellemeler, gecikme durumuna göre uğranacak limanların yeniden değerlendirilmesini de içermektedir. Geminin hızı ile ilgili kararlar ise daha önce o rotalarda edinilen deneyimler doğrultusunda kaptanlar tarafından verilmektedir. Ayrıca, hız faktörü; limana ulaşmak için belirlenen zamana, anlık yakıt tasarrufu kararına ve çevresel etmenlere bağlı olarak değişmektedir.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Mevcut sistemde, filo dağıtımına ilişkin olarak, beklenenden daha yüksek maliyetlere yol açan bazı durumlar olduğu gözlenmektedir. Aşağıda belirtilen semptomların, bu durumlara yol açan başlıca nedenler olduğu kabul edilmektedir.

1. Filo dağıtımını yaparken göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerden biri, her geminin kapasite kullanımını en üst düzeye çıkarmaktır. Ancak, gemilerin kapasiteleri ile atandıkları servislerin etkin kapasiteleri karşılaştırıldığında; bazı gemilerin atandığı servislerin kapasitelerine göre ortalamada çok daha fazla ya da çok daha az kapasiteye sahip olduğu gözlenmiştir. Buna ek olarak, atandığı servisin kapasitesinden daha fazla kapasiteye sahip gemilerin yakıt tüketim maliyeti hesaplamaları yapıldığında, 2.900\$'a ulaşan ek günlük maliyet olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, toplam süresi 15 gün olan bir servis için, yaklaşık 43.500\$ ilave maliyet oluşmaktadır.

2. Her servis için proformada belirtilen hız değerlerine göre planlanan sefer süresi hesaplanmıştır. Daha sonra, planlanan sefer süreleri ile gözlemlenen sefer süreleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, atanan gemilerin, servisler için proformada belirlenen hızlara göre daha yavaş hareket ettiği ve bu nedenle sefer sürelerindeki ortalama toleransa rağmen servislerin sefer sürelerinde gecikmeler meydana geldiği tespit edilmiştir.
3. Seyir hızları ile ilgili kararlar, yönetim ve geminin kaptanı tarafından verilmektedir. Mevcut sistemde, hız optimizasyonu üzerine herhangi bir sistematik çalışma bulunmamaktadır.

2.3 Problemin tanımı

Problemimiz, filodaki mevcut gemilerin uygun servislere, servis frekanslarını sağlayacak en uygun hız değerleriyle atanmasını sağlayarak toplam maliyeti enazlamak ve her geminin kullanım oranını arttırmaktır. Bu doğrultuda, gemilerin ve servislerin kapasitelerinin (TEU olarak), uzunluklarının, genişliklerinin, su alma derinliklerinin ve vinç özelliklerinin uygunluğu, her servisin sefer süresi, frekansı ve her serviste bu frekans değerlerini sağlayacak sayıda geminin bulunması göz önüne alınmaktadır.

2.4 Teknik yazın taraması

Problemimizi çözebilmek için, deniz ulaşımı, filo dağıtımı ve hız optimizasyonu hakkında teknik yazın taraması yapılmıştır. Teknik yazın taraması sonucunda, deniz yolu taşımacılığının uluslararası ticarete ilişkin en büyük dağıtım ağı olduğu anlaşılmıştır (Christiansen vd., 2007). Deniz taşımacılığının üç farklı moda sahip olduğu ve bunların endüstriyel, tarifesiz ve layner taşımacılığı olarak isimlendirildiği görülmüştür (Lawrence, 1972). Arkas Line, layner taşımacılık firması olduğundan araştırmalarımız layner taşımacılık üzerine odaklanmıştır. Layner taşımacılıkta, muntazam seferli gemilerin, belirlenen rota ve plana göre

bir otobüs hattına benzer şekilde faaliyet gösterdiği saptanmıştır (Christiansen vd., 2007). Layner taşımacılığında, filonun büyüklüğü değiştiğinde rotaların yeniden düzenlenmesi gerekmekte ve bu durum servis frekanslarında değişikliğe neden olmaktadır (Christiansen vd., 2007). Layner taşımacılığı için, filo dağıtımı önemli planlama problemlerinden biridir. Fagerholt vd. (2009) için filo dağıtım problemi, şirketin mevcut gemilerinden oluşan filosuyla, belirlenen planlama dönemi için seferler sağlamanın en uygun yolunu belirlemektir. Bu problemin çözümüne ilişkin, Christiansen vd. (2007) ve Fagerholt vd. (2009) tarafından sunulan matematiksel modeller incelendiğinde, ideal filo dağıtımının, toplam maliyeti en aza indirgeyecek şekilde yapılmasının amaçlandığı görülmüştür. Ronen (1993) 'e göre toplam işletme maliyetinin büyük bir kısmını yakıt tüketim maliyeti oluşturmaktadır. Yakıt tüketim maliyeti geminin hızından etkilenmektedir. Ronen (1982), günlük yakıt tüketiminin, yaklaşık olarak seyir hızının üçüncü kuvvetine eşit olduğunu belirtmiştir. Wang ve Meng (2012), düşük hızlarda seyretmenin daha az yakıt tüketimine sebep olduğunu ancak istenilen servis frekansını sağlamak için daha fazla konteyner gemisine ihtiyaç duyulabileceğini belirtmiştir. Buna ek olarak, geminin hızına bağlı olarak, sefer süresinin değiştiği anlaşılmıştır. Layner taşımacılık servisleri için yapılan optimizasyon çalışmalarının birçoğunda, gemilerin belirli bir hızda seyrettikleri varsayılmıştır (Christiansen vd., 2004; Wang ve Meng, 2012). Bu sebeple hız optimizasyonu, geminin sefer süresince tükettiği yakıt açısından büyük önem taşımaktadır. Hız ve yakıt tüketimi arasındaki ilişkiyi belirlemek için temelde iki yaklaşım olduğu belirlenmiştir. Birinci yaklaşım, yakıt tüketimi ve seyir hızının üssel bir ilişkisi olduğunu ve denklemdeki katsayıların doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak bulunabildiğini belirtmektedir (Wang ve Meng, 2012). İkinci yaklaşım, yakıt tüketiminin

kübik fonksiyona dayanan bir formüle göre değiştiğini ifade etmektedir (Doudnikoff ve Lacoste, 2014).

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

Her gemi, yalnızca bir serviste faaliyet gösterebilir. Limanda geçirilen süreler her servis için sabittir, hıza bağlı olarak değişiklik göstermez. Çevresel faktörler göz önüne alınmamaktadır. Bütün gemilerin, farklı çevresel koşullar için uygun olduğu varsayılmaktadır. Her geminin her servis için sabit bir kiralama maliyeti olduğu kabul edilmektedir. Hız değeri, her servis için 9 ve 22 knot arasında bir tam sayıdır. Ancak, bütün gemiler maksimum hıza ulaşamaz. Belirlenen hız değerleri her servis için sabit olup tüm sefer süresi boyunca geçerli olup, limanlar arasında değişiklik göstermez. Geminin atıl kapasitesi ve sefer süresinin aşıldığı her gün için ortaya çıkan maliyetlerin olduğu varsayılmaktadır.

3.2 Matematiksel model

Modelimizin amaç fonksiyonunda yakıt tüketim maliyeti, liman ek maliyeti, kiralama maliyeti ve limanlarda harcanan yakıt maliyeti olmak üzere dört çeşit maliyet bulunmaktadır. Yakıt tüketim maliyeti, teknik yazın taraması sonucu elde edilen kübik fonksiyon kullanılarak tahminlenmektedir. Liman ek giderleri; geminin kapasitesi, uzunluğu, genişliği, geminin bayrağı, servis kapasitesi, geminin yüksüz durumdaki ağırlığı, liman vergileri gibi birçok faktörden etkilenen bir maliyet türü olup, çoklu regresyon analizi yardımıyla tahminlenmektedir. Çoklu regresyon analizinde sayısal değişkenler olarak, gemilerin su alma derinliği, genişlikleri, limanlarda geçirilen ortalama süre ve limanlarda taşınan yük (TEU olarak); kategorik değişkenler olarak ise, gemilerin bayrakları ve gidilen ülkeler seçilmiştir. Çoklu regresyon analizi sonucunda, düzeltilmiş R-kare değeri %81 olarak tespit edilmiş ve 10

gözlem ile kıyaslandığında başarı oranının %89 olduğu görülmüştür. Kiralama maliyeti, servislerin toplam sefer sürelerinin, kiralama ücretleri ile çarpımı yoluyla hesaplanmaktadır. Limanlarda harcanan yakıt tüketim maliyeti ise kullanılan yakıt türüne ve gemilerin büyüklüğüne bağlı olup, Avrupa'daki limanların MGO türü yakıt tercih etmesinden dolayı, Avrupa'da bulunma durumuna göre değişiklik göstermektedir.

Kümeler ve İndisler:

i = Gemi indisi

j = Servis indisi

k = Hız indisi

V = Gemi kümesi $i = 1, 2, \dots, 29$

S = Servis kümesi $j = 1, 2, \dots, 6$

L = Hız kümesi $k = 1, 2, \dots, 14$

Parametreler

C_i = i gemisinin kapasitesi, $i \in V$

C_j = j servisinin minimum kapasitesi, $j \in S$

l_i = i gemisinin uzunluğu, $i \in V$

l_j = j servisinin uzunluğu, $j \in S$

w_i = i gemisinin genişliği, $i \in V$

w_j = j servisinin genişliği, $j \in S$

d_i = i gemisinin su alma derinliği, $i \in V$

d_j = j servisinin su alma derinliği, $j \in S$

GR_i = i gemisinin vinç durumu, $i \in V$

GR_j = j servisinin vinç durumu, $j \in S$

τ^s_{jk} = k hızı ile seyredilen j servisi için deniz günü sayısı, $j \in S, k \in L$

τ^p_j = j servisinde limanda geçirilen gün sayısı, $j \in S$

τ^b_{jk} = k hızı ile seyredilen j servisi için tampon gün sayısı, $j \in S, k \in L$

f_j = j servisinin frekansı, $j \in S$

BC_{jik} = j servisinde k hızıyla seyreden i gemisi için

yakıt tüketim maliyeti, $i \in V, j \in S, k \in L$

DA_{ij} = j servisine atanan i gemisi için

limanlarda oluşan ek maliyet, $i \in V, j \in S$

$CH_{jik} = j$ servisinde k hızıyla seyreden i gemisi için

kiralama maliyeti, $i \in V, j \in S, k \in L$

$MC_{ij} = j$ servisine atanan i gemisi için

limanda harcanan yakıt maliyeti, $i \in V, j \in S$

$Bfcr =$ Kapasite gevşetme payı= 0,1

Karar Değişkenleri

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{Gemi } i, j \text{ servisine, } k \text{ hızıyla atanırsa} \\ 0, & \text{Diğer} \end{cases} \quad i \in V, j \in S, k \in L$$

$S_i =$ Gemi i için atıl kapasite, $i \in V$

$D_{ijk} =$ Gemi i, j servisine, k hızıyla atandığında

sefer süresini aşan gün sayısı, $i \in V, j \in S, k \in L$

Filo dağıtımı ve hız optimizasyonu probleminin matematiksel formülasyonu şu şekilde verilebilir:

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in S} \sum_{k \in L} (BC_{jik} + DA_{ij} + CH_{jik} + MC_{ij})x_{ijk} + \sum_{i \in V} 1000(S_i) + \sum_{i \in V} \sum_{j \in S} \sum_{k \in L} 100(D_{ijk})$$

koşulu ile:

$$\sum_{j \in S} \sum_{k \in L} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in V \quad (1)$$

$$M_1(1 - x_{ijk}) + S_i \geq C_i^v - C_j^s(1 - Bfcr)x_{ijk} \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (2)$$

$$M_1 \sum_{j \in S} \sum_{k \in L} x_{ijk} \geq S_i \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$C_i^v \geq C_j^s(1 - Bfcr)x_{ijk} \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (4)$$

$$x_{ijk}(l_i^v) \leq (l_j^s)(1.1) \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (5)$$

$$x_{ijk}(w_i^v) \leq w_j^s \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (6)$$

$$x_{ijk}(d_i^v) \leq (d_j^s)(1.1) \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (7)$$

$$x_{ijk}(G_j^s) \leq G_i^v \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (8)$$

$$\sum_{k \in L} (X_{ijk})(\tau^s_{jk}) + \tau^p_j + \tau^b_{jk} \leq (f_j) \sum_{i \in V} \sum_{k \in L} X_{ijk} \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (9)$$

$$M_2(X_{ijk}) + D_{ijk} \geq f_j \sum_{i \in V} \sum_{k \in L} (X_{ijk}) - (\tau^s_{jk} + \tau^p_j) \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (10)$$

$$M_2(X_{ijk}) \geq D_{ijk} \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V, j \in S, k \in L \quad (12)$$

Modelin amaç fonksiyonu, yakıt tüketim maliyetlerini, limanlarda ödenen ek taşıma giderlerini, gemilerin kiralama maliyetlerini, gemilerin

atıl kapasitesi sonucu açığa çıkan toplam fırsat maliyetini ve sefer sürelerini aşma maliyetlerini minimize etmektedir. Kısıt (1), her geminin yalnızca bir servise atanmasını sağlar. (2) ve (3) numaralı kısıtlar, gemilerin atıl kapasitesinin minimize edilmesini sağlamaktadır. (4) numaralı kısıt, servislere atanacak gemilerin kapasitesinin, servislerin kapasitesini karşılayacak şekilde atama yapılması sağlar. Kısıt (5), servislere atanacak gemilerin uzunluklarının, servislerin uzunluklarını geçmeyecek şekilde atama yapılmasını sağlar. Kısıt (6), servislere atanacak gemilerin genişliklerinin, servislerin genişliklerini geçmeyecek şekilde atama yapılmasını sağlar. (7) numaralı kısıt, servislere atanacak gemilerin su alma derinliklerinin, servislerin su alma derinliklerini geçmeyecek şekilde atama yapılmasını sağlar. (8) numaralı kısıt, vinçli gemiye ihtiyaç duyan servislere, vinçli gemilerin atanmasını sağlar. Kısıt (9), servislerin toplam sefer sürelerinin, o servislere atanan gemi adetleri ile o servislerin frekanslarının çarpımına eşit olmasını sağlar. (10) ve (11) numaralı kısıt, sefer sürelerini aşan gün sayılarını minimize etmektedir. (12) numaralı kısıt, karar değişkenlerinin yapılarını belirtmektedir.

4. Sayısal Sonuçlar

Geliştirilen modelin doğruluğunu test edebilmek için, oyuncak veriler içeren bir problem oluşturulmuştur. Bu problemde, on geminin iki servise tüm kısıtlar göz önüne alınarak servislerin frekansını sağlayacak en uygun hız değerleriyle atanması beklenmiştir. Yapılan bu test sonucunda, modelimiz doğrulanmıştır. Doğrulaması yapılan matematiksel modelimiz, problemimizin gerçek verileri kullanılarak i7 işlemcili ve 16 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda IBM ILOG CPLEX Optimizasyon Studio 12.6.3 optimizasyon yazılımı kullanılarak çözdürülmüştür. Matematiksel modelimiz, 6 dakikadan daha kısa sürede optimal sonuca ulaşmıştır. Tablo 1'de, matematiksel modelin çözümü sonucunda atanan gemiler, atandıkları servisler, sefer hızları, gemilerin

atıl kapasiteleri, sefer sürelerini aşan gün sayıları ve toplam maliyet görülmektedir.

Tablo 1. Matematiksel Modelin Çözümü ile Elde Edilen Sonuçlar

Atanan Gemi	Atandığı Servis	Hız (knot)	Servis Kapasitesi (Toleranslı)	Gemi Kapasitesi	Atıl Kapasite	Sefer Süresini Aşan Gün Sayısı
ROSELINE A	ADS	13	810	817	7	1,64
M.KAHVECİ A	ADS	12	810	932	122	0,42
KAPTAN AYTAÇ A	ADS	12	810	913	103	0,42
MATILDE A	ADS	12	810	912	102	0,42
VIVIEN A	ASA	15	1530	1868	338	0,44
GÜLBENİZ A	ASA	15	1530	1868	338	0,44
MARTHA A	ASA	15	1530	1868	338	0,44
MARTINE A	NAS	15	675	709	34	0,00
INGA A	NAS	15	675	710	35	0,00
AYŞE A	NAS	15	675	700	25	0,00
MARGUERITE A	LIB	14	900	1145	245	0,00
ROZA A	GPS	14	990	1119	129	0,33
ALLEGRI	GPS	14	990	1119	129	0,33
CORELLI	GPS	15	990	1119	129	1,64
ARCANGELO	GPS	14	990	1085	95	0,33
TOMRIZ A	ITE	15	810	1119	309	0,00
DANIEL A	ITE	15	810	918	108	0,00
Toplam Maliyet (\$)	8.444.862,64					

4.1 Duyarlılık analizi

Matematiksel modelimizde kullandığımız kapasite tolerans parametresinin değiştirilmesi sonucunda, çözümümüzün nasıl değiştiğini gözlemleyebilmek için, farklı kapasite tolerans değerleriyle modelimiz çözdürülmüştür. Tablo 2’de, farklı kapasite tolerans değerleri için elde ettiğimiz toplam maliyetler ve çözüm süreleri görülmektedir.

Kullanılabilecek en yüksek esnetme değerinin %10 olması gerektiği, aksi takdirde gemilerin kapasitesinin kullanım oranının düştüğü bilindiğinden, en düşük maliyete sahip ulaştığımız kapasite toleransı olan %10, modelimizde kullanılmak üzere seçilmiştir.

Tablo 2. Duyarlılık Analizi Sonuçları

Kapasite Toleransı	Toplam Maliyet (\$)	CPU (dk)
0,2	8.405.245,92	2,35
0,1	8.444.862,64	1,8
0,096	8.444.862,64	2,58
0,095	8.444.862,64	2,05
0,09	8.544.424,94	1,55
0,08	8.544.424,94	5,93

4.2 Karşılaştırma ve İyileştirmenin Niceliği

Filodaki mevcut 29 gemi arasından, altı servise en düşük maliyeti ve en yüksek kullanım oranını sağlayacak şekilde atama yapılmasını gerçekleştirecek olan matematiksel modelimizin çözdürülmesi sonucunda, altı servis için bir seferi tamamlama maliyeti toplam 8.444.862,64\$ olarak tespit edilmiştir. Şirketin altı servis için yaptığı mevcut atamaların toplam maliyeti ise 8.903.102\$ olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere, matematiksel model sonucunda belirlenen atamalar gerçekleştiği takdirde, şirket 458.239\$ tasarruf sağlamış olacaktır. Bununla birlikte, mevcut sistemdeki atamalar sonucu ortaya çıkan toplam atıl kapasite, matematiksel modelin çözümü sonucunda elde edilen toplam atıl kapasite ile karşılaştırıldığında, % 16 oranında bir iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 3’de mevcut sistem ile matematiksel modelin çözümü ile elde edilen sonuçlar görülmektedir.

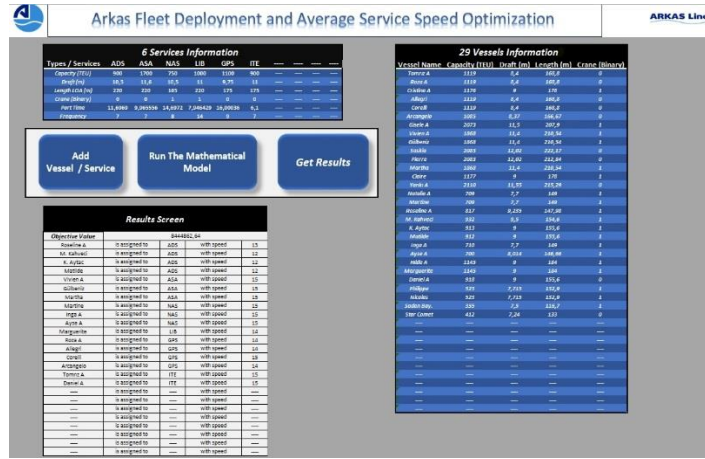
Tablo 3. Matematiksel Modelin Sonuçları ile Mevcut Sistemin Karşılaştırılması

	Mevcut Sistem	Matematiksel Modelin Sonucu
Toplam Maliyet (\$)	8.903.102	8.444.862,64
Toplam Atıl Kapasite	7124	2586
Atıl Kapasite Yüzdesi	% 30	% 14

4.3 Karar Destek Sistemi

Problemimizin çözümü, kullanıcıya kolaylık sağlamak amacıyla oluşturduğumuz karar destek sistemine entegre edilmiştir. Bu karar

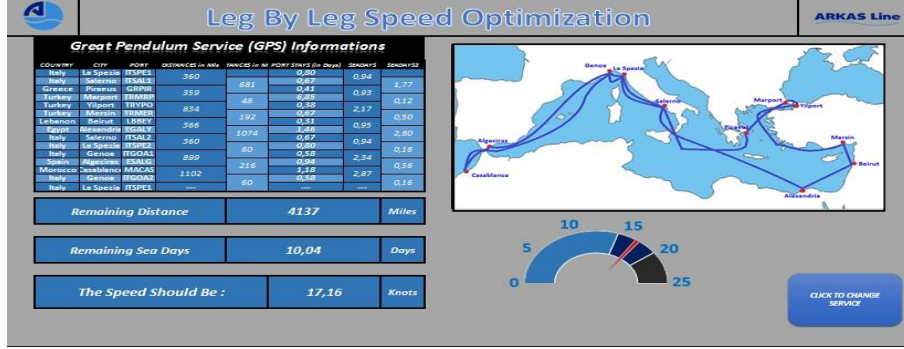
destek sisteminin “Fleet Deployment and Average Service Speed Optimization” ekranı, ana ekranımız olup filodaki gemilerin ve servislerin parametrelerinin düzenlendiği ve sonuçların tablo olarak kullanıcıya sunulduğu ekrandır. “Add Vessel/Service” butonu ile kullanıcı gemi ve ya servis ekleme seçeneklerinden birini seçip, daha sonra istediği geminin ya da servisin parametrelerini girebilir. Buna ek olarak, kullanıcı, açılan ekranda bulunan “Restore to Default” butonu ile veriyi problem kapsamımız olan 29 gemi, altı servis boyutuna geri döndürebilmektedir. Ana ekranımızda bulunan “Run the Mathematical Model” butonu ile matematiksel modelimiz, “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio” yazılım paketi kullanılarak çalıştırılmaktadır. Modelin çözümü tamamlandıktan sonra, “Get Results” butonu ile kullanıcının toplam maliyeti, atanan gemileri, atandıkları servisleri ve bu servislerdeki seyir hızlarını ana ekranda tablo halinde görmesi sağlanmaktadır.



Şekil 1. Filo Dağıtımı ve Hız Optimizasyonu Ekranı

Karar destek sistemimizin “Leg by Leg Speed Optimization” ekranında ise, gemilerin limanlar arasında seyretmesi gereken hız, her servis için servis frekansını sağlayacak şekilde limanlarda geçirilen sürelerle bağlı olarak güncel bir şekilde saptanmaktadır. Görüntülenmek istenen servis ve o servisin matematiksel model sonucu belirlenen

ortalama hız değeri girilip, yanaşmakta olan liman seçildiğinde, yanaşılan limana kadar uğranan tüm limanlarda geçirilen süreler gün cinsinden kullanıcıya gösterilmektedir ve güncellenebilmektedir. Geriye kalan toplam mesafe, denizde geçirilecek süre ve geriye kalan sürede seyredilmesi gereken hız da bu sayfada görüntülenebilmektedir.



Şekil 2. Limanlar Arası Hız Optimizasyonu Ekranı

Karar destek sistemimizde yer alan diğer ekranlar ise matematiksel modelde kullanılacak olan liman ek giderlerinin ve yakıt tüketim maliyetlerinin kullanıcı tarafından kolaylıkla tespit edilmesini sağlayan “DA Calculator” ve “Bunker Calculator” ekranlarıdır. Bu ekranlarda, regresyona bağlı olarak tahminlenen liman ek giderleri ve kübik fonksiyon kullanılarak yapılan hesaplama sonucu bulunan günlük yakıt tüketim miktarı ile toplam sefer süresi boyunca tüketilen yakıtın maliyeti, kullanıcıya gösterilmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu projede, layner taşımacılığında önemli olan filo dağıtımı ve hız optimizasyonu problemleri ele alınmıştır. Geliştirilen matematiksel model ile toplam maliyeti ve atıl gemi kapasitesini enazlarken hangi geminin hangi serviste hangi hızla faaliyet göstermesi gerektiği kararının verilmesi amaçlanmıştır. Buna ek olarak, kullanıcının geliştirilen karar destek sistemi ile her servis için toplam sefer süresini sağlayacak şekilde limanlar arası seyir hızını saptayabilmesi, matematiksel modelin

sonucunu görebilmesi, yakıt tüketim ve disbarko maliyetlerini hesaplayabilmesi sağlanmıştır.

Yapılan bu çalışmanın, layner taşımacılık alanında faaliyet gösteren firmalar için yararlı olacağı ve yeni verilerin modele entegre edilmesiyle de kolaylıkla çözüme ulaşılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Christiansen, M., Fagerholt, K., Ronen, D. 2004. “Ship routing and scheduling: status and perspectives”, *Transportation Science* 38(1), 1–18.
- Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., Ronen, D. 2007. “Maritime transportation. Handbooks in operations research and management science”, 14, 189-284.
- Doudnikoff, M., Lacoste, R. 2014. “Effect of a speed reduction of containerships in response to higher energy costs in Sulphur Emission Control Areas”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 28, 51-61
- Fagerholt, K., Johnsen, T. A., Lindstad, H. 2009. “Fleet deployment in liner shipping: a case study”, *Maritime Policy & Management*, 36(5), 397-409.
- Lawrence, S. A. 1972. “International sea transport: the years ahead”, Lexington Books.
- Ronen, D. 1982. “The effect of oil price on the optimal speed of ships”, *Journal of the Operational Research Society*, 33(11), 1035-1040.
- Ronen, D. 1993. “Ship scheduling: The last decade”, *European Journal of Operational Research*, 71(3), 325-333.
- Wang, S., Meng, Q. 2012. “Liner ship fleet deployment with container transshipment operations”, *Transportation Research Part E* 48, 470–484.
- Arkas. 2017. Tarihçe, http://www.arkas.com.tr/en/arkas_holding.html. Son erişim tarihi: 23 Mart 2017.

Konteyner Terminalinde Çok Seviyeli Depolama Planlaması

Nemport Liman İşletmeleri Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

F. Yasemin Bilgel

Fatih Çelik

Ege Günlüsoy

Büşra Şen

Cansu Yurtseven

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Figen Kalfa, Yazılım Geliştirme ve Proje Yöneticisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Erdinç Öner, Araş. Gör. Damla Kızılay, Araş. Gör.
Özgün Öztürk

ÖZET

Nemport Liman İşletmeleri'nde gerçekleştirilen bu çalışma, ihraç edilen konteynerlerin terminal sahası içerisinde sistematik ve verimli bir şekilde depolanmalarını sağlamaktadır. Geliştirilen sistematik konteyner depolama planlaması, depolama sırasında yaşanan karışıklığı, zaman kaybını ve saha araçlarının yakıt tüketim masraflarını enazlayacak çözümü sunmaktadır. Sistemin çözümü için biri optimal diğeri sezgisel çözüm üreten iki ayrı model geliştirilmiştir. Tasarlanan karar destek sistemi sayesinde kullanıcılar, çözümleri saha üzerinde resimleyebilmekte ve istedikleri konteyner grubunun yerini rahatça tespit edebilmektedirler.

Anahtar Sözcükler: Konteyner terminali, saha planlama, konteyner depolama, optimizasyon.

1. Genel Sistem Analizi

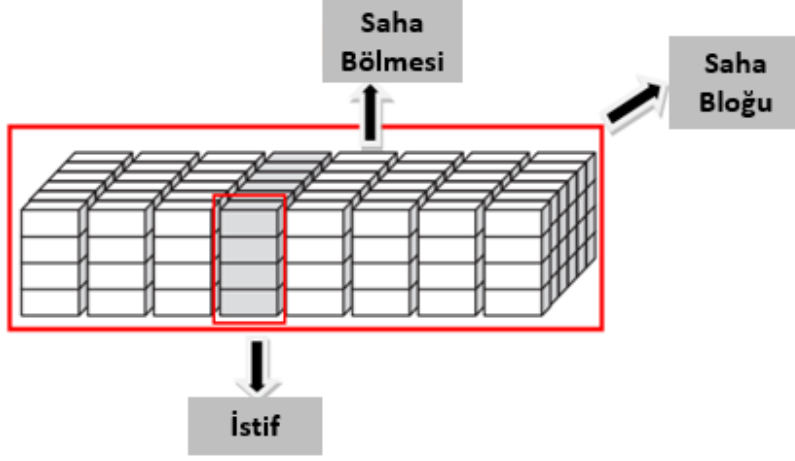
Uluslararası ticaretin büyük bir kısmı deniz yolu ile gerçekleşmektedir. Deniz yoluyla yapılan taşımacılığın önemli çoğunluğunu oluşturan konteyner taşımacılığının ticaretteki payı gün geçtikçe artmaktadır. Dünya’da en çok tercih edilen taşımacılık yöntemi olan deniz taşımacılığında kilit rol oynayan konteyner limanları, gemi operasyonlarında zaman kayıpları ve maddi kayıpların getireceği maliyet artışını ve ek ücretleri minimum miktarda tutabilmek için nitelikli kadroya ve güçlü bir lojistik altyapıya sahip olmalıdır. Bu vizyon ile 2009 yılında Nempport Liman İşletmeleri ve Özel Antrepo Nakliye Ticaret A.Ş. Ege Bölgesi’nin ilk özel konteyner limanını hizmete sunmuştur.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

Terminale gelen konteynerleri depolamada yaşanan problemler ve bu doğrultuda oluşan kayıpları önlemek adına şirkette yeni bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla problemi tanımlamak için analizler yapılmış ve problemi ortaya çıkaran semptomlar belirlenmiştir.

2.1. Mevcut sistemin analizi

Nempport Liman İşletmeleri ve Özel Antrepo Nakliye Ticaret A.Ş. Nemrut Körfezi’nde bulunan Nempport Konteyner Terminali’nde hizmet vermektedir. Konteyner terminalinde boyut olarak 1-TEU (Konteyner Eşdeğer Birimi) ve 2-TEU olmak üzere iki tip konteyner elleçlenmektedir. 6030 adet 1-TEU konteyner depolama kapasitesine sahip terminalde, ithal veya ihraç edilecek mallar depolanmaktadır. Konteyner depolamanın dışında konteynerlerin bakımı, kontrolleri vb. operasyonlar da terminalde gerçekleştirilmektedir. Konteyner terminali müşteri profili konusunda çok geniş bir yelpazeye sahiptir. Tarım ve hayvancılık sektöründen demir-çelik sektöründe bulunan firmalara kadar hizmet vermektedir.



Şekil 2.1. Konteyner Stok Alanı Saha Bloğu

Şekil 2.1’de gösterildiği üzere saha blokları saha bölmelerinden, saha bölmeleri ise istiflerden oluşmaktadır.

Terminal limanı 820 metre uzunluğa ve 40 metre genişliğe sahiptir. Limana aynı anda 4 gemi yanaşabilir. Terminalin saha tarafı A, B, C ve D olmak üzere dört farklı konteyner depolama alanından oluşur. A sahası limana en yakın olan alandır ve dolu konteynerleri depolamanın yanı sıra boş konteynerleri depolamak için de kullanılır. B sahası ise konteyner yükleme istasyonu operasyonları için kullanılır. Bu operasyonlar konteynerlerin temizlenmesi ve iç dolum operasyonlarıdır. C sahası en fazla kapasiteye sahip alan olup, dolu konteynerlerin depolanması için kullanılır. Terminalin dışında bulunan D sahası ise boş konteynerleri depolamak için kullanılır. A sahası ile C sahası aynı blok sayısı ve istif boylarına sahip olup saha bölmesi sayıları birbirinden farklıdır. Bu sebeple A sahasının kapasitesi 1880 TEU ve C sahasının kapasitesi ise 4150 TEU’dur.

2.2. Sistemde gözlemlenen semptomlar

Konteynerlerin saha bloklarına ataması yapılırken ağırlık, gidilecek liman, müşteri benzerliği gözetilmeden ve bilimsel bir yaklaşıma dayanmadan farklı bloklara veya uzak saha bölmelerine atandığı tespit edilmiştir. Bu şekilde bir atama, konteynerlerin fazla sayıda yer değiştirmesine ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Zaman kayıplarının bir diğer sebebi ise saha alanlarındaki dengesiz iş yüküdür. Dengesiz iş yükü konteynerlerin taşınmasında ve liman araçları arasında trafiğe sebep olmaktadır. Bunların yanında, konteynerlerin fazla sayıda yer değiştirmesi saha vinçlerinin hareketlerini arttırmaktadır. Bu durum da fazladan yakıt tüketimine sebep olduğu için maliyeti arttırmaktadır.

2.3. Problem tanımı

Nemport limanına konteynerler, denizden ve karadan gelmektedir. Depolama alanlarına konteynerler tırlar aracılığıyla götürülür ve Lastikli Gezer Vinçler (RTG) aracılığıyla istiflenir. Bu alanlarda konteynerin istifleneceği konumun belirlenme işlemi, planlama ekibinin tecrübesi doğrultusunda belirlenmektedir. Firmanın göz önünde bulundurması gereken kısıtlar ve öncelikli olarak yapılacak operasyonlar düşünüldüğünde istenilen düzende bir depolama işlemi gerçekleştirilememektedir. Konteynerlerin dağınık bir şekilde depolanması saha vinçlerinin fazladan hareket etmesiyle ve tahliye operasyonlarının olması gerektiğinden uzun bir sürede tamamlanmasıyla sonuçlanmaktadır. Bu durum depolama alanlarında tır trafiğine, RTG vinçlerin verimli kullanım oranının düşmesine ve yakıt masraflarının artmasına neden olmaktadır. Bu projeye, Nemport limanının depolama sahasındaki problemler analiz edilip etkili ve verimli bir çözüme ulaştırılması amaçlanarak başlanmıştır.

2.4. Teknik yazın taraması

Teknik yazın taramasında incelenen makalelerin bilgileri Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu projede referans alınan makale, Eliyi vd., (2013) tarafından ele alınmıştır. Eliyi vd., (2013) çalışmasında İzmir Limanı’nda gerçek hayat problemi olan bir ihracat konteyneri depolama problemini ele almıştır. Bu çalışmanın amacı ulaştırma maliyetlerini ve ihracat konteynerleri için yeniden taşıma hamlelerini azaltmaktır. Problem iki aşamalı olarak formüle edilmiştir. Birinci aşamada aynı gemiyle, aynı limana gidecek konteynerler bir optimizasyon modeli aracılığıyla gruplanarak aynı veya birbirine yakın saha bölmelerine atanmaktadır. İkinci aşamada ise etkili bir sezgisel yaklaşım yardımıyla konteynerlerin ağırlıkları ve boyutları göz önünde bulundurularak her bir konteynerin kesin yeri belirlenmektedir.

Tablo 2.1. Teknik yazın taramasında incelenen makaleler

Yazar/Tarih	Tanım	Amaç Fonksiyonu	Yöntem
Esmey 2009	Liman içi lojistik süreçlerin verimliliğini artırma	Liman yönetimine karar destek aracı olarak lojistik yönlü bir karar destek modeli geliştirme	Simülasyon
Gharehgozli vd. 2009	Bir konteyner terminalinde meydana gelen tüm işlemleri gerçekleştirmek için ritim vinci çizelgelemesi	Saha vinçlerinin gezme sürelerini enazlamak	İki Aşamalı Sezgisel Çözüm Yöntemi

Tablo 2.1. Teknik yazın taramasında incelenen makaleler (devamı)

Yazar/Tarih	Tanım	Amaç Fonksiyonu	Yöntem
Lee vd. 2009	Saha kamyonu çizelgeleme ve lokasyon atama	Konteynerlerin boşaltılma sürelerini enazlamak	Tamsayılı Programlama
Chen ve Lu 2010	Giden konteynerler için lokasyon ataması	Liman içi katedilen toplam mesafe ve saha bölmeleri arası iş yükü farkını enazlamak	Karma Sıralı İstifleme Algoritması
Bierwirth ve Meisel 2009	Rıhtım vinci çizelgelemesi	Rıhtım vinçleriyle gerçekleştirilen son operasyonun tamamlanma süresini enazlamak	Karar Tabanlı Sezgisel Yaklaşım
Eliyi vd. 2013	İhraç konteynerlerinin ulaşım masrafını ve elleçleme sayısını düşürme	Aynı gemiye ve limana gidecek konteynerlerin atandığı saha bölmeleri arasındaki mesafeyi enazlamak	Karar Tabanlı Sezgisel Yaklaşım
Le ve Knust 2015	Konteynerleri istifteki uygun alanlara atama	Zemin seviyesinde depolanan konteynerlerin sayısını enazlamak	Karışık Tamsayılı Programlama

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemi

Problemin çözümü için gerekli olan varsayımlar, oluşturulan parametreler ile karar değişkenleri ve matematiksel model bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1. Varsayımlar

Oluşturulan matematiksel modelin optimal bir şekilde çözülebilmesi için varsayımlardan yararlanılmıştır. Problemin bazı kısıtları matematiksel modelde ifade edilemeyeceği için bu varsayımlara ihtiyaç duyulmuştur ve bu varsayımlar aşağıda verilmektedir.

- İthal konteynerlerin sayısının ihraçlara oranla çok az olması ve onlara ayrılmış olan saha ve bloklara atanacağını bilmesi sebebiyle sadece ihraç konteynerler ele alınmıştır.
- Konteynerler, gemi firmaları ve gideceği limanı aynı olanlar olmak üzere gruplandırılmaktadır. Matematiksel modelde her konteyner grubu için saha bölmesi ataması yapılmaktadır.
- Konteynerlerin atanması saha bölmeleri baz alınarak yapılmaktadır.
- 1-TEU ve 2-TEU boyutundaki konteynerler teknik sebeplerden dolayı tek bir istifte depolanmamaktadır.
- Konteynerlerin üst üste istiflenebilmelerindeki sınır beş konteyner olarak belirlenmiştir ama modelde parametrik olarak ifade edilmiştir.
- Saha blokları ve bölmeler arası mesafe Manhattan tipi mesafe olarak düşünülmüştür.

3.2. Parametre ve karar değişkenleri

Model parametreleri ve karar değişkenleri şu şekildedir;

L : Grup Seti, $1 \leq l \leq L$

Y : Bölme Seti, $1 \leq y \leq Y$

K : Konteyner Tipi, $k = \{1, 2\}$

$M_{y,y'}$: $y \neq y'$ iken y ile y' arasındaki mesafe, $1 \leq y, y' \leq Y$

V_y^0 : Planlama döneminin başında y saha bölümünde bulunan konteyner sayısı

C_y : y saha bölümünün depolama kapasitesi

C_l : l grubuna ait konteyner sayısı

$C_l^{(1)}$: l grubuna ait konteyner tipi 1 – TEU olan konteyner sayısı

$C_l^{(2)}$: l grubuna ait konteyner tipi 2 – TEU olan konteyner sayısı

x_{ylk} : y saha bölmesine atanan l grubuna bağlı k tipi konteyner sayısı

$$z_{yl} = \begin{cases} 1, & l \text{ grubuna ait konteynerler } y \text{ saha bölmesine atandıysa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$t_{y,y',l} = \begin{cases} 1, & l \text{ grubuna ait konteynerler } y \text{ ve } y' \text{ bölmesine atandıysa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

V_y : Planlama döneminin sonunda y saha bölmesinde bulunan konteyner sayısı

B_{ly} : y saha bölmesine atanmış ve l grubuna ait toplam konteyner sayısı

3.3. Model formülasyonu

Oluşturulan matematiksel modelin formülasyonu şu şekildedir;

$$\text{Min } \sum_{l=1}^L \sum_{y=1}^Y \sum_{\substack{y'=1 \\ y \neq y'}}^Y M_{y,y'} * t_{y,y',l} \quad (0)$$

subject to;

$$V_y = \sum_{l=1}^L x_{yl1} + 2 * \sum_{l=1}^L x_{yl2} + V_y^0, \quad \forall y \in Y \quad (1)$$

$$\sum_{y=1}^Y \sum_{k=1}^K x_{ylk} = C_l, \quad \forall l \in L \quad (2)$$

$$\sum_{y=1}^Y x_{ylk} = C_l^{(1)}, \quad \forall l \in L, k = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{y=1}^Y x_{ylk} = C_l^{(2)}, \quad \forall l \in L, k = 2 \quad (4)$$

$$x_{ylk} \leq C_l^{(1)} * z_{yl}, \quad \forall y \in Y, \forall l \in L, k = 1 \quad (5)$$

$$x_{ylk} \leq C_l^{(2)} * z_{yl}, \quad \forall y \in Y, \forall l \in L, k = 2 \quad (6)$$

$$V_y \leq C_y, \quad \forall y \in Y \quad (7)$$

$$\sum_{l=1}^L x_{yl1} + 2 * \sum_{l=1}^L x_{yl2} \leq C_y, \quad \forall y \in Y \quad (8)$$

$$\sum_{l=1}^L z_{yl} \leq 1, \quad \forall y \in Y \quad (9)$$

$$B_{ly} = \sum_{k=1}^K x_{ylk}, \quad \forall l \in L, \forall y \in Y \quad (10)$$

$$z_{yl} + z_{y'l} - 1 \leq t_{yy',l}, \quad \forall l \in L, \forall y, y' \in Y, y < y' \quad (11)$$

$$z_{yl}, t_{yy',l} \in \{0,1\} \quad \forall l \in L, \forall y, y' \in Y \quad (12)$$

$$x_{ylk}, V_y, B_{ly} \geq 0 \quad \forall l \in L, \forall y \in Y, \forall k \in K \quad (13)$$

Amaç fonksiyonu (0) aynı gruba ait konteynerlerin atandığı saha bölmeleri arasındaki mesafeyi en aza indirir. Bu durum saha vinçlerinin olabilecek en az hareket ile elleçleme yapabilmesinde ve konteynerlerin fazla sayıda yer değiştirilmesini önlemede yarar sağlar. Kısıt (1) planlama periyodunun sonunda saha bölmesinde bulunan toplam konteyner sayısını hesaplar ve bunu yaparken 1-TEU ve 2-TEU boyutundaki konteynerlerin farklı alanlar kapladığını gösterir. Kısıt (2) aynı gruba ait konteyner sayısını o grupta toplamda elleçlenen konteyner sayısına eşitler. Kısıt (3) ve (4) bir önceki kısıtta yapılan işlemi iki farklı konteyner tipi için de gerçekleştirir. Kısıt (5) ve (6) x ve z sırasıyla 1-TEU ve 2-TEU konteyner tipleri için ilişkilendirir. Kısıt (7) konteyner atamalarının her saha bölmesi için belirlenen kapasiteyi aşmamasını sağlar. Kısıt (8) 2-TEU boyutundaki konteynerlerin 1-TEU boyutundaki konteynerlere nazaran saha bölmelerinde iki katı fazla yer kapladığını belirtir. Kısıt (9) farklı gruplara ait olan konteynerlerin aynı saha bölmesinde depolanmasını önleyen kısıttır. Kısıt (10) her saha bölmesine hangi gruptan kaç konteyner atandığı bilgisini tutar. Kısıt (11) aynı gruba ait olan konteynerler farklı saha bölmelerinde depolanıyorsa t değişkenini 1 yapar. Değişkenlerin aralıkları (12) ve (13) kısıtlarında verilmektedir.

3.4. Çözüm yöntemi

İlk aşamada matematiksel model “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3” isimli optimizasyon programı kullanılarak çözülmüştür. Konteyner grup sayısı arttıkça çözüm süresi uzamaktadır. Model, 6 konteyner grubu, istiflenmesi gereken 200 konteyner ve 16 saha bölmesindeki 300 konteynerlik boş alan parametre değerlerine kadar optimal bir şekilde çözülmektedir. İkinci aşamada ise şirketin belirlediği kriterler doğrultusunda problem karar tabanlı sezgisel yaklaşımla çözülmektedir. Bunun için öncelikle Visual Basic for Application (VBA)

programı kullanılarak bir algoritma oluşturulmuştur. Algoritma, gelen konteynerlerin sahip olduğu gemi firmalarına ve gideceği limana bakılarak, firması ve limanı aynı olan konteynerlerin gruplandırılmasıyla başlamaktadır. Ayrıca konteynerler hafif (0-15 ton), orta (15-25 ton) ve ağır (25 ton ve üzeri) olmak üzere ağırlık gruplarına ayrılmıştır. Daha sonra her gruptaki 1-TEU ve 2-TEU konteyner sayıları belirlenmektedir. Konteyner yerleştirilmesi yapılmadan önce 1-TEU ve 2-TEU konteynerler için blokların konteyner kapasiteleri belirlenmektedir. Bloklar kapasitesi en büyük olandan en küçük olana doğru sıralandıktan sonra, her gruptaki 1-TEU ve 2-TEU konteyner sayıları da büyükten küçüğe doğru sıralanıp ilk olarak 2-TEU konteyner sayısı en fazla olan grup, kapasitesi en fazla olan bloğa atanmaktadır. Bu işlemin yapılmasının sebebi aynı grupta olan konteynerlerin mümkün olduğunca aynı blok ve saha bölmelerine atanmasıdır. Mevcut kapasite hesaplanması her grup atamasından sonra yapılmaktadır. Tüm 2-TEU konteynerler yerleştirilene kadar aynı işlem devam etmektedir. Daha sonra aynı işlem 1-TEU konteynerlerin yerleştirilmesi sırasında uygulanmaktadır. Konteynerlerin blok atamaları yapılırken saha bölmelerine yerleştirilmesinde de blok atamasıyla aynı yöntem izlenmektedir. Ayrıca ağırlık gruplarına ayrılan konteynerler saha bölmelerine yerleştirirken saha bölmelerindeki istiflere ağırdan hafife doğru istiflenmektedir. Konteynerlerin ağırlık gruplarına göre yerleştirme sırasında, algoritma ilk olarak boş olan saha bölmelerini bulup ağır konteynerleri yerleştirmektedir. Sonrasında en az sayıda konteynere sahip saha bölmelerini tespit ederek orta ağırlıktaki konteynerleri yerleştirmektedir. Son olarak hafif konteynerleri istiflerin üzerinde kalan yerlere yerleştirmektedir.

4. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde, problemin doğruluğu kontrol edilerek gerekli iyileştirmeler yapılmış ve karar destek sistemi oluşturulmuştur.

4.1. Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık analizi

Oluşturulan model, “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3” ve VBA kullanılarak çözülmüştür. Yazılan model firmadan alınan gerçek verilerle optimizasyon programında çözüldüğünde, belirlenen amaç fonksiyonu doğrultusunda optimal sonucu vermektedir. Bu sonucun üzerine matematiksel model için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analizde, saha bölmelerinin sayısı sabit tutulup, sırasıyla grup sayıları, elleçlenecek konteyner sayısı ve saha bölmelerinde kapasiteye uygun boş alan sayısı değiştirilerek çözülmüştür. Bunun sonucunda konteyner sayılarının ve kapasitenin modelin çözüme zamanında Central Processing Unit (CPU) etkisi olmadığı saptanmıştır. Diğer parametreleri sabit tutup grup sayısında değişiklik yapıldığında çözüm zamanında bir artış gözlenmiştir. Problemin çözüm yönteminde belirtilen konteyner sayısı, saha bölmesi ve boş alan parametrelerinin sayısı artırılarak sonuca ulaşılması amacıyla problem çözümüne VBA üzerinden devam edilmiştir.

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

VBA ile geliştirilen Karar Destek Sistemi (KDS) bloklara ve saha bölmelerine atanan 1-TEU ve 2-TEU konteynerlerin yerleştirildikleri yerleri görme imkânı sunmaktadır.

A SAHA												
Bay1	Bay2	Bay3	Bay4	Bay5	Bay6	Bay7	Bay8	Bay9	Bay10			
0	1	0	0	5	1	0	5	5	0	0	0	0
3		0	0	5	0	0	5	5	1	0	0	0
4		2		5	0	1	5	5	5	0	0	0
4		4		5	2		4	4	4	0	0	0
1	1	4		4	4		4	3	4	0	0	0

Şekil 4.1. A Sahası A1 Blok Yerleşim Planı

Şekil 4.1’de A sahasında bulunan bloklardan birinin mevcut durumu gözlenmektedir. Açık renkli hücreler 1-TEU koyu renkli hücreler ise 2-TEU konteynerleri temsil etmektedir. 2-TEU olan konteynerler 1-TEU olanlara göre iki kat daha fazla yer kapladığından boş gibi görünen beyaz alanlar, aslında 2-TEU konteynerlerin kapladığı alanın devamını göstermektedir ve o kısımların da dolu olduğunu ifade eder. Hücre içindeki numaralar her bir istifte bulunan konteyner sayısını göstermektedir ve her bir grup atanması gerçekleştirildikten sonra blokların mevcut durumu VBA programı aracılığıyla otomatik olarak güncellenmektedir. Bu sayede her yeni gelen konteyner grubunun yerleştirilmesi sırasında algoritma, mevcut durumdan kapasite hesaplamalarını yaparak sahadaki 1-TEU ve 2-TEU olan boşlukları belirlemekte ve yeni grubun atamalarını bu boşluklara göre gerçekleştirmektedir.

Oluşturulan karar destek sistemi, kullanıcı dostu arayüzü ile Şekil 4.2’de gösterilmektedir.

NEMPORT KARAR DESTEK SİSTEMİ

Line: Line Seçiniz Gemi: Liman Seçiniz Sefer: Sefer Seçiniz Özel Durum: Özel Durum Sı

Kaydet Rezervasyon İptal Saha Seçiniz: A Sahası Saha Görüntüle

Rejim: Boyut: Tip/Tür: Tonaj:

Konteyner ID:

NEMPORT

A SAHA

Bay1	Bay2	Bay3	Bay4	Bay5	Bay6	Bay7	Bay8	Bay9	Bay10	Bay11	Bay12	Bay13	Bay14	Bay15	Bay16	Bay17	Bay18	Bay19	Bay20	Bay21	Bay22
0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	4	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.2. Nemport Karar Destek Sistemi Arayüzü

Sonuç ve Öneriler

Proje sonucunda, Nempont konteyner terminalinde çok seviyeli depolama planlaması problemi için bilimsel yöntemlere dayanan bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Problem çözümü için “IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.6.3” programında geliştirilen model limana gelen konteynerlerin yerleştirileceği saha bölmelerine karar verirken aynı gruba ait konteynerler arasındaki mesafeyi enazlamayı amaçlar. VBA’de geliştirilen model ise konteynerlerin atanacağı saha bölmeleri içerisindeki istif pozisyonlarına da karar verebilmektedir ve bu çözüm yöntemi de aynı amaç doğrultusunda çalışmaktadır. Bu sayede konteynerlerin yerleştirilmesi gereken alanlar çok daha kısa sürede tespit edilebilmektedir. Ayrıca çözüm yönteminin kolaylıkla kullanılabilmesi için bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Bu proje, tüm liman şirketlerinin ortak problemi olan konteyner depolama problemine çözüm niteliğinde bir algoritma sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bierwirth, C., Meisel, F. 2009. “A fast heuristic for quay crane scheduling with interference constraints”, *Journal of Scheduling*, 12 (4), 345-360.
- Chen, L., Lu, Z. 2010. “The storage location assignment problem for outbound containers in a maritime terminal”, *Int. J. Production Economics* 135, 73-80.
- Eliyi, D.T., Mat, G., Özmen, B. 2013. “Storage optimization for export containers in the port of İzmir”, *Promet – Traffic&Transportation*, 25 (4), 359-367.
- Esmer, S. (2009). Konteyner terminallerinde lojistik süreçlerin optimizasyonu ve bir simülasyon modeli. (Doktora Tezi, Dokuz Eylül University, İzmir, Turkey). Alıntılanan internet sitesi <https://goo.gl/QZ5RP5>
- Gharehgozli, A.H., Yu, Y., de Koster, R., Udding, J.T. 2013. “An exact method for scheduling a yard crane”, *European Journal of Operational Research* 235, 431-447.
- Le, X.T., Knust, S. 2016. “MIP-based approaches for robust storage loading problems with stacking constraints”, *Computers & Operations Research* 78, 138-153.
- Lee, D.H., Cao, J.X., Shi, Q., Chen, J.H. 2009. “A heuristic algorithm for yard truck scheduling and storage allocation problems”, *Transportation Research Part E*, 810-820.
- Nemport Konteyner Terminali 2016, Rıhtım & Saha, Ekipman Parkı, Antrepo, alıntılanan internet sitesi www.nemport.com.tr, 15 Ekim, 2016.

Yıllık Üretim Planlaması ve Çizelgeleme

Philsa Sabancı Sigara ve Tütüncülük Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Proje Ekibi

Emre Bulut, Cansın Bayar, Elif Dolmen,
Oytun Cevre, Elay Gülleroğlu

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Ahmet Onur Akgül, Şenol Mullaoğlu

Akademik Danışmanlar

Dr. Deniz Türsel Eliyi, Dr. Gizem Mullaoğlu,
Damla Kızılay, Özgün Öztürk

ÖZET

Bu projede bir sigara üreticisi olan Philsa fabrikasının üretim planlama problemi incelenmiştir. Çalışmanın amacı manuel olarak oluşturulan üretim planlamasında oluşabilecek zaman kaybını önleyen, her ürün (SKU) için ürünlerin stokta kalma süresini en az ve makinaların üretim kapasitelerini en fazla seviyeye getiren bir karar destek sistemi oluşturmaktır. Problem matematiksel olarak modellendikten sonra IBM ILOG CPLEX kullanılarak çözülmüştür. Üretim planlama ve çok amaçlı eniyileme hakkında yapılan araştırmalar sonucunda problemin çözümü için bir dekompozisyon (ayırıştırma) metodu uygulanmıştır. Proje sonunda fabrikadaki farklı senaryolara uyumlu şekilde eniyi üretim planını otomatik olarak sağlayan bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. **Anahtar Sözcükler:** Üretim Planlama Problemi, Eniyileme, Karar Destek Sistemi.

1.Genel Sistem Analizi

Philip Morris International Inc. (PMI), dünya çapında Amerikan sigara ve tütün şirketidir ve iki yüzden fazla ülkeye ürünlerini satmaktadır. Şirketin en bilinen ürün markası Marlboro'dur. Philip Morris markası ilk olarak Londra'nın Bond sokağında açılan bir dükkanla 1854 yılında faaliyete başlamıştır (PMI 2016), mevcut operasyon merkezi İsviçre'dedir. PMI, Türkiye'deki operasyonları için 1991 yılında Sabancı Holding ile ortaklık sağlayıp 1992 yılı sonunda İzmir, Torbalı'da Philsa fabrikasını açmıştır. Fabrikanın şu anda 640.000 m² hacmi bulunmaktadır. Üretim kapasitesi yıllık 98 milyar sigaradır. Philsa İzmir fabrikası, PMI fabrikaları arasında en fazla üretim yapan fabrikadır ve dünyadaki diğer PMI fabrikalarıyla karşılaştırıldığı zaman yüksek işgücü verimliliği ve yüksek hızda üretim yapma konusunda öndedir (PMI, 2016).

Bu proje, Philsa'da yıllık üretim planlaması ve çizelgesi oluşturulması için harcanan zamanı en aza indirgeyerek sistemi iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Bunun için hazırlanmış olan yıllık üretim çizelgeleri, makina-SKU (stock keeping unit: stok bulundurma birimi, ürün) eşleşmeleri ve makina kapasiteleri ayrıntılı bir biçimde analiz edilmiştir. Sanayi danışmanları ile yapılan toplantılarla problem belirlenmiş ve yapılacak çalışmalar konusunda kararlar alınmıştır.

1.1 Mevcut Sistem Analizi ve Gözlenen Semptomlar

Philsa'da operasyon planlama bölümünün görevlerinden biri yıllık üretim planlarını hazırlamaktır. Üretim planları hazırlanırken yıl ortası ve yıl sonu ulaşılması hedeflenen envanter miktarları, makina kapasiteleri ve çalışacak makina sayıları, yurt içi ve yurt dışı ürünlerin incelenmesiyle manuel olarak belirlenmektedir. Firma yıl içinde, her bir aylık üretim sürecinin ilk iki haftasını yurt içi üretimi, geriye kalan iki haftalık süreci de yurt dışı üretimi ile tamamlamayı hedeflemektedir. Üretilen ürünlerin

çeşitlerine göre üretim bantları farklılık göstermektedir. Bu iki durum gözetilerek ürünler makinelere atanmaktadır. Yıllık talepler, makine kapasiteleri ve iş yükünün makinelere dengeli bir şekilde dağıtılması da göz önüne alındığında yapılacak olan yıllık planlama daha karmaşık hale gelmektedir. Aylık çalışan makine sayılarına göre işçi alım ve çıkarım maliyetleri artabilmektedir. Her yeni alınan operatörün alıştırmaya süreci bir ay varsayıldığından, çalışan makine sayılarının dengeli tutulması tercih edilen bir politikadır.

Gün bazında envanter hedefleri, fabrikanın üretimini yaptığı her market için farklılık göstermektedir. Amaç, bu süreleri en düşük seviyede tutarak yıl ortası ve yıl sonu envanter hedeflerini yakalamaktır. Philsa halihazırda bu faktörleri gözeterek yıllık üretim planlarını manuel olarak yoğun emek gücü ve uzun zamanlar harcayarak oluşturmaktadır. Ayrıca her değişiklikte manuel olarak tekrar güncellenmesi gereken ve üretim planlamasını yavaşlatan unsurlar aşağıdaki gibi maddelendirilmiştir:

- Üretimi yapılmayan ürünleri üretim planından çıkarmak,
- Makinalara atanan işçi değişikliğinin planlara yansıtılması,
- Hangi ürünün hangi makinada üretiminin yapılacağına ilişkin güncellenmesi,
- Makine performansından kaynaklanan sapmalar,
- Makinelerin öngörülemeyen nedenlerden dolayı durması gibi değişiklikleri manuel olarak planlara yansıtma mümkün olmayabilmektedir. Bu şekilde elde edilen planın eniyi olup olmadığı da kontrol edilememektedir.

Projemizde üretim planı matematiksel olarak modellenerek IBM ILOG CPLEX yazılımı ile çözülmüştür. Excel'in makro veri tabanı ile kurulan karar destek sistemi sayesinde bir arayüz oluşturulup;

- Eniyi sonuca yaklaşmayı,

- Yurt içi ürünlerinin stokta kalma sürelerini en az düzeyde tutmayı,
- Makinelerin kapasite kullanımlarını en fazla düzeyde tutmayı,
- Talepleri zamanında karşılamayı,
- Yıl ortası ve yıl sonu envanter hedeflerine ulaşmayı,
- Yurt dışı ürünleri için stokta kalma sürelerinin sürdürülebilir olmasını,
- Makine iş yüklerinin düzgün dağılmasını

sağlayarak zaman kaybını ortadan kaldıran bir sistem geliştirilmiştir.

1.2 Problemin Tanımı

Gözlem ve semptomlar ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, mevcut üretim planlamasının, sonuçları uygulanabilir olsa da gelişmeye açık olduğu anlaşılmıştır. Bu her yıl tekrarlanan bir süreç olduğu için Philsa hem harcanan zamanı düşük seviyede tutmak, hem de eniyiye yakın planlar elde etmek istemektedir.

1.3 Teknik Yazın Taraması

Projenin hayata geçirilmesi için öncelikle teknik yazın araştırması yapılarak benzer problemlerde hangi yolların izlendiği incelenmiştir. Yazın taramasında üretim planlama, tek ve paralel makinalarda kapasiteli sipariş miktarı, çizelgeleme problemlerinde uygulanan dekompozisyon metodu üzerine yoğunlaşmıştır. Xiao vd.'nin (2013) kapasiteli sipariş miktarı ve çizelgeleme problemi, paralel makinalarda işlenecek çok sayıda ürünü içermektedir. Her bir periyotta her makina için üretim miktarlarını, ürün atamalarını ve sıralamasını belirleyen makina uygunluğu kısıtları bulunmaktadır. Problem, bağlantısız paralel makinelere çoklu ürün dağıtımını geliştirme amaçlı sezgisel algoritma olan Dantzig-Wolfe dekompozisyon metodu ile çözülmüştür. Gallego vd.

(2013) ise tek makina için çizelgeleme modeli geliştirmiştir ve amaçları işlerin en yüksek tamamlanma süresini en aza indirmektir. Çözüm geliştirmek için bir matematiksel model kurulmuştur. Ancak model büyük örneklerle uzun süre çalıştırılarak eniyi çözüme ulaşamamıştır. Çok amaçlı eniyileme üzerine Sajjaa ve Rao'nun (2014) çalışmasında ise ana üretim çizelgesi problemi incelenmiş, stok seviyelerini ve kurulum zamanlarını en aza indirgeyip belirli periyotlarda üretilecek ürünün birim sayısı için eniyi değerler bulunmuştur. Üretim planlama problemlerinde dekompozisyon yöntemi asıl probleme olurlu bir çözüm sağlamak için alt problemler oluşturur (Aardal, K., & Larsson, T.,1990). İncelenen yazın taraması dekompozisyon yönteminin etkili üretim planlama için doğru bir yöntem olduğunu göstermiş, olurlu ve pratik bir çözüm bulabilmek için problemi parçalara ayırarak çözüme yolu seçilmiştir.

2. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

Problemi çözmek için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Modelin amacı yıllık üretim planlaması ve çizelgesini en kısa sürede oluştururken aynı zamanda en iyi sonuca yaklaşmaktır. Problemin büyüklüğünden dolayı dekompozisyon (ayrıştırma) metodu uygulanmıştır. Bu doğrultuda aynı kategoride sayılabilecek, birbiriyle aynı özellikleri taşıyan ürünler bir araya getirilerek Tablo 1'de gösterildiği gibi dört ayrı formata ayrılmış ve model her bir format için ayrı ayrı çözülmüştür. Örneğin format 1'deki ilk ürün olan KS RCB 20 STD, paketin büyük boy (king size-KS), köşeli kenar (round cornerbox-RCB) ve yirmi adet standart (20 STD) olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Format Tablosu

Format 1	Format 2	Format 3	Format 4
KS RCB 20 STD	100 SOF 20 STD	KS RCS 20 SLI	KS SOF 20 STD
KS BOX 20 STD	100 RCB 20 XSL	KS RCS 20 STD	KS SRP 20 STD
	100 RCB 20 SSL		KS DSP 20 SSL
	100 RCB 20 STD		90 BEV 20 SLI
	100 BOX 20 STD		KS BOS 20 STD
	KS RCB 20 SLI		KS ZBO 20 STD
	KS BOX 20 SLI		

2.1 Parametreler, Setler ve Karar Değişkenleri

Modelde dört set tanımı bulunmaktadır.

p	: Periyot indisi	$p = 0, 1, 2, \dots, 30$
s	: Stok bulundurma birimi (SKU) indisi	$s = 1, 2, \dots, S$
l	: Makine indisi	$l = 1, 2, \dots, L$
m	: Market indisi	$m = 1, 2, \dots, M$

Model parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

M	: Büyük tamsayı sabiti	
DT_m	: Ürünlerin stokta kalma süresinin üst limiti (gün)	$\forall m$
$Init_s$: Başlangıç envanteri (milyon sigara)	$\forall s$
FM_s	: Yıl ortası envanter hedefi (milyon sigara)	$\forall s$
FE_s	: Yıl sonu envanter hedefi (milyon sigara)	$\forall s$
IC_{lp}	: Başlangıç kapasitesi (milyon sigara)	$\forall l, p$
SV_{sp}	: Sevkiyat hacmi (milyon sigara)	$\forall s, p$
SM_{sm}	$SM_{sm} = \begin{cases} 1, & \text{eğer SKU } s \text{ Market } m' \text{ ye gidiyorsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$	$\forall s, m$
SL_{sl}	$SL_{sl} = \begin{cases} 1, & \text{eğer SKU } s \text{ Makine } l' \text{ de üretilebiliyorsa} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$	$\forall s, l$

Modelin karar değişkenleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

pvl_{spl}	: SKU, periyot ve makine için üretim hacmi (milyon sigara)	
y_{spl}	$y_{spl} = \begin{cases} 1, & \text{eğer SKU } s, \text{ Makine } l \text{ ve Periyot } p' \text{ de üretildiyse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$	$\forall s, p, l$
z_{sl}	$z_{sl} = \begin{cases} 1, & \text{eğer SKU } s, \text{ Makine } l' \text{ de üretildiyse} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$	$\forall s, l$

2.2 Matematiksel Model

Projemizde geliştirilen matematiksel model aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min } \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^{24} \sum_{l=1}^L y_{spl} \quad (0)$$

$$\sum_{s=1}^S pvl_{spl} \leq IC_{lp} \quad 1 \leq p \leq 24, \forall l \quad (1)$$

$$pvl_{spl} \leq IC_{lp} (SL_{sl}) \quad 1 \leq p \leq 24, \forall s, l \quad (2)$$

$$pvl_{spl} \leq y_{spl} (IC_{lp}) \quad 1 \leq p \leq 24, \forall s, l \quad (3)$$

$$z_{sl}(M) \geq \sum_{p=0}^{30} y_{spl} \quad \forall s, l \quad (4)$$

$$z_{sl} \leq \sum_{p=0}^{30} y_{spl} \quad \forall s, l \quad (5)$$

$$\sum_{l=1}^L z_{sl} \leq 1 \quad \forall s = \text{Düşük SKU} \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^L z_{sl} \leq 2 \quad \forall s = \text{Yüksek SKU} \quad (7)$$

$$init_s + \sum_{l=1}^L pvl_{spl} - SV_{sp} = i_{sp} \quad p = 1, \forall s \quad (8)$$

$$i_{s(p-1)} + \sum_{l=1}^L pvl_{spl} - SV_{sp} = i_{sp} \quad 2 \leq p \leq 24, \forall s \quad (9)$$

$$i_{sp} \geq FM_s(SM_{s,Domesticmarket}) \quad p = 12, \forall s \quad (10)$$

$$i_{sp} \geq FE_s(SM_{s,Domesticmarket}) \quad p = 24, \forall s \quad (11)$$

$$\frac{\sum_{p=1}^{12} i_{s(2p)}(SM_{s,Domesticmarket})}{\sum_{p=1}^{24} SV_{s(p)}(SM_{s,Domesticmarket})} \times 90 \geq 3 \quad \forall s \quad (12)$$

$$DT_m \geq \frac{\sum_{p=1}^{12} \left(\left(\frac{\sum_{s=1}^S (i_{s(2p)}(SM_{sm}))}{\sum_{s=1}^S \sum_{p=2p+1}^{2p+6} (SV_{sp} * SM_{sm})} \right) \times 90 \right)}{12} \quad \forall m \quad (13)$$

$$pvl_{s(2p)l}(SM_{s,Exportmarket}) = 0 \quad 1 \leq p \leq 12, \forall s, l \quad (14)$$

$$\frac{\sum_{p=1}^{24} \left(\sum_{l=1}^L \frac{\sum_{s=1}^S pvl_{spl}}{IC_{lp}} \right)}{24} \times 1.3 \geq \sum_{l=1}^L \frac{\sum_{s=1}^S pvl_{spl}}{IC_{lp}} \quad 1 \leq p \leq 24 \quad (15)$$

$$i_{sp} \geq 0 \quad \forall s, p \quad (16)$$

$$pvl_{spl} \geq 0 \quad \forall s, p, l \quad (17)$$

$$z_{sl} \in \{0,1\} \quad \forall s, l \quad (18)$$

$$y_{spl} \in \{0,1\} \quad \forall s, p, l \quad (19)$$

Amaç fonksiyonu (0) her makine için toplam kurulum sayısını en aza indirgeyerek makinelerin kapasitesini en yüksek seviyeye

çıkarmaktadır. Kısıt (1)'e göre, her makine ve bütün ürünler için toplam üretim hacmi en fazla başlangıç kapasitesi kadar olmalıdır. Kısıt (2) eğer ürün herhangi bir makinede üretilmiyorsa o ürün için üretim olmamasını sağlar. Kısıt (3) eğer ürün o periyotta ve o makinede üretilmiyorsa o ürünün üretim hacminin olmamasını sağlar. Kısıt (4) ve (5) makinede üretim olup olmadığını kontrol eder. Kısıt (6) her ürünün, fazla talepli ürünler dışında, en fazla bir makineye atanmasını sağlarken kısıt (7) talebi fazla olan ürünlerin en fazla iki makineye atanmasını sağlar. Kısıt (8) ve (9), envanter dengesini, Kısıt (10) ve (11) ise iç pazar için (Domesticmarket) envanter seviyelerinin yıl sonu ve yıl ortasındaki hedeflere ulaşmasını sağlamaktadır. Kısıt (12) iç pazar (Domesticmarket) için tüm ürünlerin stok süresinin belirli bir günden fazla olmasını gözetir. Kısıt (13) tüm pazarlar için ortalama DOI hedeflerini zorlar. Kısıt (14) ihracat pazarı için her ayın ikinci yarısında üretim olmasını engeller. Kısıt (15) makinelerin ortalama kullanımının %130'unun, her periyot için makine kullanımından daha fazla veya makine kullanımına eşit olmalarını sağlar. (16-19) numaralı kısıtlar ise değişkenlerin aralıklarını tanımlamaktadır.

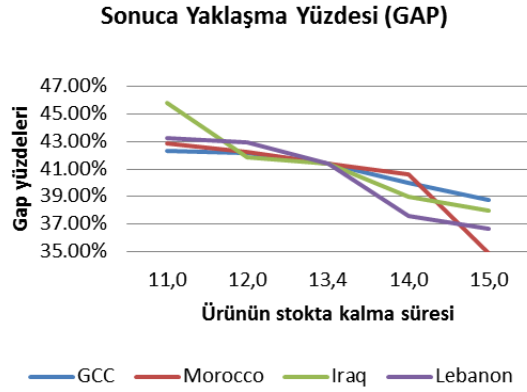
3. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde çözümlenmesi yapılan modelin çıktılarından elde edilen sayısal sonuçlara göre geliştirilmiş sistemin analizi yapılmıştır.

3.1. Doğrulama, geçerleme ve duyarlılık analizi

Matematiksel modelin yapısı kontrol edilmiştir. İlk olarak Philsa'da yapılan toplantılarda, dört formata ayrılmış modelin sonuçlarıyla güncel üretim planlaması verileri gözden geçirilmiştir. İki plandan elde edilen sonuçların da doğru ve mantıklı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, modele aynı cins ürünlerin belirli makinalarda üretim yapılmasını sağlayan kısıtlar eklendikten sonra elde edilen sonuçlara göre kurulum sayısı azaldığı için makinaların üretim kapasitelerinin arttığı

gözlemlenmiştir. Fabrikada, yaklaşık bir haftada manuel olarak yapılan üretim planlamasını, kurduğumuz model bir günde %95'ini çözmüştür. Bu bölümde, şirketin belirlediği marketlere göre gün bazında ürünlerin stokta kalma sürelerinin üst limitleri, her market için belirli aralıklarla azaltılıp arttırılmıştır. Bu yeni kısıtlar eklenerek modelden sonuçlar alınmıştır. Model format 1 için farklı ürünlerin stokta kalma sürelerinin üst limitlerine göre IBM ILOG CPLEX eniyileme programıyla onar dakika çalıştırılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi gün bazında ürünün stokta kalma sürelerinin üst limitleri arttırıldığında bulunan sonuç ile eniyi sonuç arasındaki fark azalmıştır. Sonuç olarak, üst limitlerin arttırılması beklendiği üzere modelin verdiği çözümün eniyi sonuca daha da yaklaşmasını sağlamıştır. Yaklaşılan sonuçlar aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 1. Duyarlılık Analizi

3.2. Karşılaştırma ve Uygulama: İyileştirmeler ve KDS

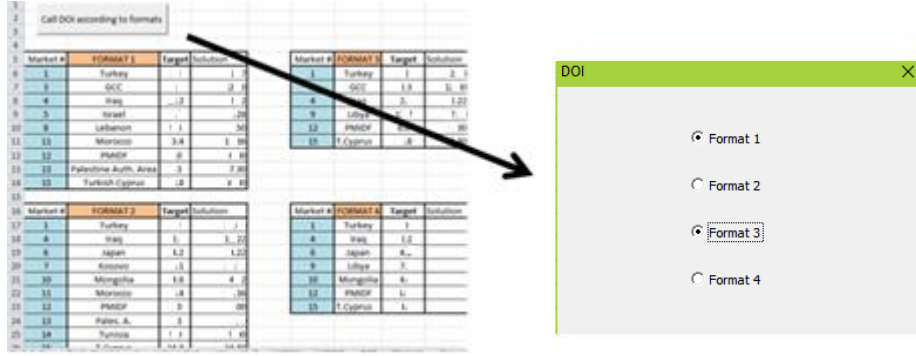
Yapılan araştırmalara göre IBM ILOG CPLEX ile Excel programlarının beraber çalıştırılabileceği bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Projemizde Excel VBA kullanılarak oluşturulan karar destek sisteminin kullanıcı dostu olması amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda kullanıcı tarafından yapılan seçimlere en kolay ve en hızlı şekilde rapor formatında ulaşılması sağlanmıştır. IBM ILOG CPLEX

eniyileme programıyla elde edilen tüm çıktılar Excel'e yazdırılmaktadır. Projemizde dekompozisyon metodu uygulanarak oluşturulan dört ayrı CPLEX model dosyaları içerisinde çıktıları yazılan dört ayrı Excel dosyası bulunmaktadır. Karar destek sistemimizin amacı doğrultusunda bu dört farklı Excel'e aynı anda erişmenin kullanıcı için zor olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle, bütün verilerin aktarılabilceği KDS'nin de içinde bulunduğu bir ana Excel dosyası oluşturulmuştur. Şekil 2'deki ana Excel örneğine, çalıştırıldığı eniyileme programına bağlı Excel'den tek tuşla güncel üretim hacminin çağırıldığı çıktı ekranı gösterilmiştir.

Is	SPO	Linkup	Period	Period														
				Jan-17R	Jan-17E	Feb-17R	Feb-17E	Mar-17R	Mar-17E	Apr-17R	Apr-17E	May-17R	May-17E	Jun-17R	Jun-17E			
FA054495	IPREDFM	LUS6	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA017329	FRESERL	LUS6	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA024536	E LABEL K	LUS6	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA024775	LABEL K	LUS6	15	0	0	0	0	44.08433	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA024787	NIGHT BR	LUS6	16	0	0	0	0	15.43167	0	0	0	27.35433	0	27.35433	0	0	64.66667	0
FA024789	AQUA BL	LUS6	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA028442	TORNE K	LUS6	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA030236	ROSSO K	LUS6	19	0	0	34.001	0	47.985	0	69.2167	0	0	0	23.001	0	0	0	34.001
FA034382	TIONE KC	LUS6	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.55886	0	36.44414	0	0
FA033780	GLA HYE	LUS6	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA054257	HICrown	LUS6	22	0	0.752856	0	0.8949	1.2874	0	1.2708	0	1.2987	0	2.7028	0	0	2.9439	0
FA054258	LIE ICRD	LUS6	23	0	1.627798	0	0	2.3582	0	0	1.2987	0	1.32	0	2.8789	0	0	1.4
FA055786	PZ D OFR	LUS6	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA061538	DIETTO	LUS6	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA022241	D MEDUM	LUS6	38	0	7.212933	0	0	0.004	0	0	0.004	0	0	0	0.002	0	0.002	0
FA037477	FDLPGR	LUS6	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA037478	OLD LIGR	LUS6	40	0	1.325467	0	0	0	0	0.004	0	0	0	0.002	0	0.004	0	0
FA037480	FDLPGR	LUS6	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA037481	OLD LIGR	LUS6	42	0	1.548533	0	4.508	0	0.002	0	0.002	0	0.002	0	0.004	0	0	0
FA037482	OLD LIGR	LUS6	43	0	23.98283	0	0	0.004	0	0	0	0.002	0	0.002	0	0.002	0	0
FA045040	IPREDFM	LUS6	44	0	11.96312	0	30.6159	0	0	15.9066	0	0	0	14.8433	0	14.8441	0	31.4827
FA062108	MOR MIX	LUS6	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FA022239	BASSAD	LUS6	47	0	1.605997	0	4.2522	0	0	6.673	0	0	0	0	2.0631	0	4.3726	0
FA050522	BLUE KS	LUS6	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

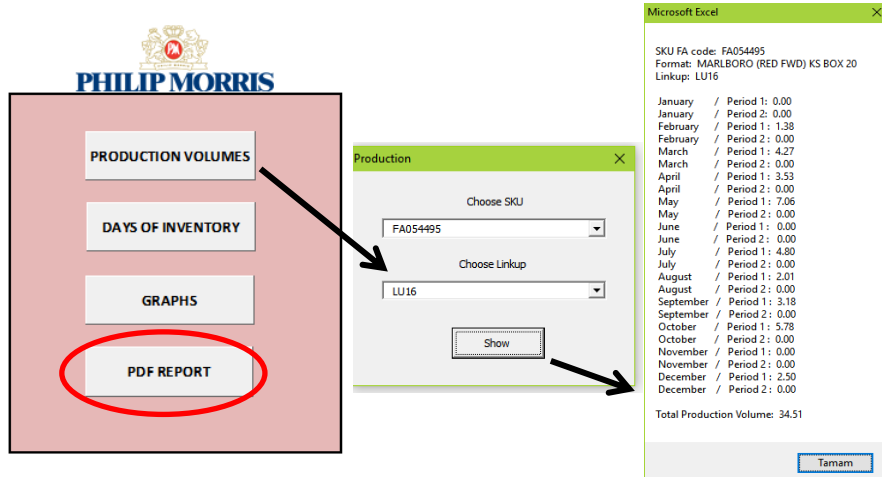
Şekil 2. Ana Excel'de, Format 1 için Üretim Hacimleri Çıktıları

Ayrıca Şekil 3'te dört farklı formattaki marketlerin hesaplanan güncel ürünlerin stokta kalma sürelerinin aktarılmasını sağlayan tuş ile üretim hacim çıktısı gösterilmiştir. Kullanıcı, istediği bir veya birden fazla formatın verilerine ulaşabilmektedir. Fabrika için düşünülmesi en önemli olan üretim hacmi, ürünlerin stokta kalma süresi ve bu istatistikleri gösteren grafiklere ulaşılabilecek bir ana sayfa tasarlanmıştır.

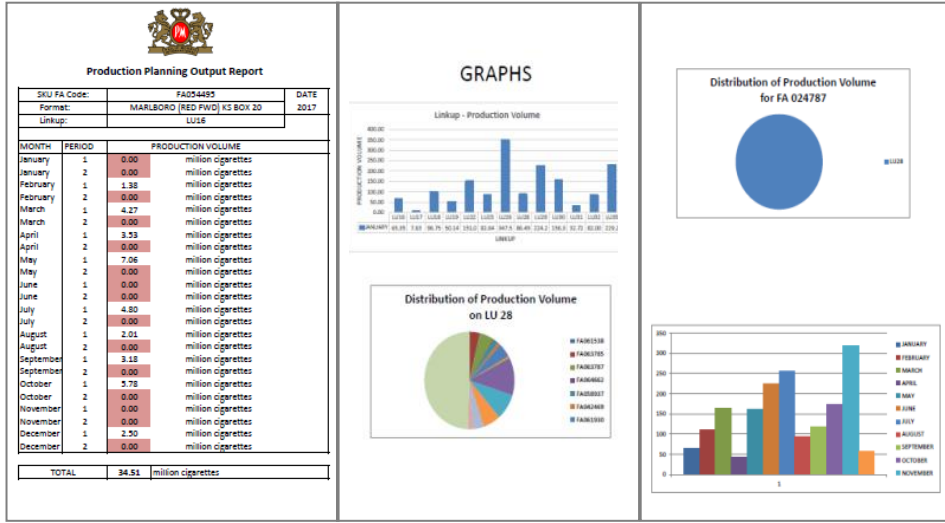


Şekil 3. Ana Excel’de, Ürünlerin Stokta Kalma Sürelerinin Çıktıları

Ayrıca, ana sayfada oluşturulan Excel dosyasının pdf uzantılı rapor çıktısının alınabileceği bir arayüz oluşturulmuştur. Şekil 4’teki tuş sayesinde, kullanıcı sonuçları rapor formatında çıktısını alıp inceleyebilecek ve diğer departmanlarla belli bir formatta paylaşabilecektir. Üretim hacmi seçeneğine basıldığı zaman, Şekil 4’teki gibi kullanıcıdan ürün ve makina seçmesi istenmektedir. Kullanıcı hangi makinada hangi ürünün her ay ne kadar üretim yaptığını ve toplam üretim miktarını Şekil 5’teki gibi rapor formatında görebilecektir.



Şekil 4. Kullanıcı Arayüzü Ana Sayfası, Makine-Ürün Seçim Arayüzü ve Çıktıları



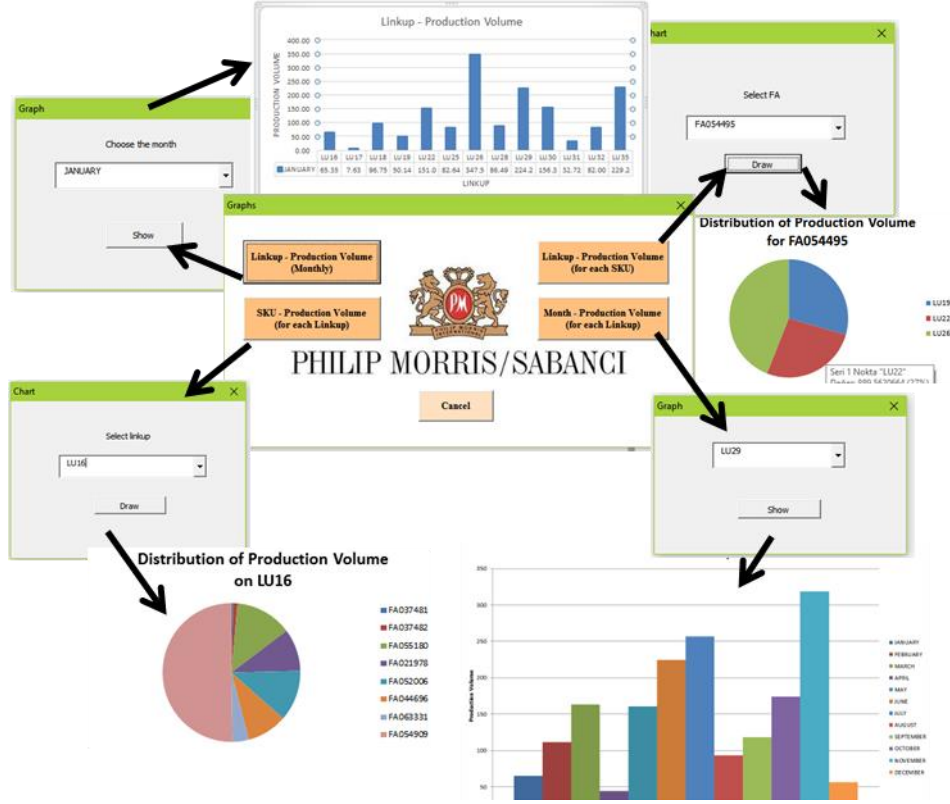
Şekil 5. PDF Rapor Formatı

Kullanıcı ana sayfada ürünlerin stokta kalma süresi tuşuna basıp market seçimini yaptıktan sonra seçtiği marketin hesaplanan senelik ürünlerin stokta kalma süresine Şekil 6'daki gibi ulaşabilecektir.



Şekil 6. Market Seçim Arayüzü ve Sonuçları

Kullanıcı tek tuşla ana sayfadaki dört ayrı grafik seçeneğiyle karşılaşacaktır. İlk grafik, seçilen ay için her makinanın üretim hacmini, ikinci grafik, seçilen her makina için o makinada üretilen ürünlerin yüzdelik değerlerini, üçüncü grafik, seçilen her ürün için hangi makinada ve yüzdelik değerlerini, son grafik, seçilen her makina için bir sene boyunca her ayın üretim hacminin değerlerini göstermektedir. Aşağıda belirtilen seçeneklerin formatları ve elde edilen sonuçların görselleri Şekil 7'deki gibidir.



Şekil 7. Grafik Seçim Arayüzü ve Sonuçları

4. Sonuç

Bu proje, Philsa'da yıllık üretim planlaması ve çizelgesi oluşturulması için harcanan zaman kaybını en aza indirmek ve sistemi iyileştirmek amacıyla yapılmıştır. Bunun için hazırlanmış olan yıllık üretim çizelgeleri, makina-SKU eşleşmeleri ve makina kapasiteleri analiz edilmiş olup sisteme uygun bir model oluşturulmuştur. Fabrika içerisinde oluşabilecek çeşitli nedenlerden dolayı üretimin durdurulma senaryolarına uyum sağlayan ve eniyi veya eniyeye yakın üretim planlamasını veren bir otomatik karar destek sistemi oluşturulmuştur. Manuel olarak gerçekleştirilen yıllık üretim planlaması, oluşturduğumuz sistem ile otomatik bir sistem haline gelmiştir. Bu sayede, istenen yıllık üretim planlaması ve çizelgesi oluşturulurken harcanan zaman en aza indirilmiştir.

KAYNAKÇA

Aardal, K., & Larsson, T. (1990). A Benders decomposition based heuristic for the hierarchical production planning problem. *European Journal of Operational Research*, 45(1), 4-14.

Philip Morris International (PMI) 2016 Market Pages, http://www.pmi.com/marketpages/pages/market_en_tl.aspx Son erişim tarihi: 20 Ekim 2016.

Philip Morris International (PMI) 2016 Our History, http://www.pmi.com/eng/about_us/pages/our_history.aspx Son erişim tarihi: 18 Ekim 2016.

Radhika, S., & Ch.Srinivasa, R. (2014). A New Multi-Objective Optimization of Master Production Scheduling Problems Using Differential Evolution. *International Journal of Applied Science and Engineering* 12 (1), 75-86.

Vélez-Gallego, M. C., Maya, J., & Montoya-Torres, J. R. (2016). A beam search heuristic for scheduling a single machine with release dates and sequence dependent setup times to minimize the makespan. *Computers & Operations Research*, 73, 132–140. doi:10.1016/j.cor.2016.04.009.

Xiao, J., Zhang, C., Zheng, L. and Gupta, J.N.D. (2013) ‘MIP-based fix-and-optimize algorithms for the parallel machine capacitated lot-sizing and scheduling problem, *International Journal of Production Research*, 51(16), pp.5011–5028. doi:10.1080/00207543.2013.790570.

Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Whirlpool - Indesit Buzdolabı Fabrikası

Proje Ekibi

Ceren Güngör
Cansın Kayserili
Ali Galip Matlar
Ela Mutlum
Can Şensu

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Gonca Karaarslan, Manisa Buzdolabı Fabrikası Üretim Yöneticisi

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Levent Kandiller, Araş. Gör. Hande Öztop
Yaşar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede, beyaz eşya üreticisi olan Whirlpool-Indesit şirketindeki montaj hattı dengeleme problemi üzerine yoğunlaşmıştır. Projenin amacı, istasyon sayısını azaltarak ve toplam iş yüklerini dengeleyerek, üretilen ürün adedini değiştirmeden işçi maliyetlerini azaltmaktır. İhtiyaç duyulan bütün operasyon süreleri Metod Zaman Ölçümü (MTM) tekniğine bağlı olarak hesaplanmıştır. Problem tanımı temel alınarak matematiksel model oluşturulmuştur. Modelden alınan çıktıların, sezgisel yöntem ile desteklenmesiyle çözüme ulaşılmıştır. Geliştirilen çözüm yöntemlerinin kullanılabilir olması için karar destek sistemi tasarlanmıştır. Oluşturulan karar destek sisteminin, projenin çerçevesinde olmayan diğer montaj hatlarına da katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

Anahtar Sözcükler: montaj hattı dengeleme, alan kısıtlaması, çift taraflı hat

Genel Sistem Analizi

Indesit Company 1975 yılında Vittorio Merloni tarafından Fabriano, Ancona'da kurulmuştur. 1987 yılında Vestel Goldstar şirketinin bünyesi altında Indesit Company Manisa fabrikası kurulmuştur. Indesit Company, Ekim 2014 tarihinden itibaren Whirlpool bünyesi altında çalışmaktadır [1]. 35 ana modeli olan işletmede 326 çeşit kombi, soğutucu (tek kapılı, çift kapılı), derin dondurucu ve ofis tipi buzdolapları üretilmektedir. Buzdolabı fabrikasında toplam yedi hat bulunmaktadır [1]. Buzdolapları genişlik, uzunluk, hacim ve enerji sınıfı özelliklerine bağlı olarak uygun oldukları hatlara dağıtılıp üretilmektedir. Fabrikanın üretim bölümü; plastik, makine, boyama, kapı köpükleme, ön montaj, montaj, kalite kontrol olmak üzere bölümlere ayrılmıştır. Üretim bölümünden geçen ürünler, kalite kontrol bölümünde gerekli kontrollerden geçirilmekte; başarıyla geçen ürünler paketlenmekte ve müşteriye teslim edilmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut sistemin analizi

Manisa Indesit Company Şirketi'nin ön montaj bölümü ve montaj bölümünde yedişer hat bulunmaktadır. Bu projede, 6. ve 7. hatlar gözlemlenmiştir. 6. hatta soğutucular, 7. hatta ise dondurucular üretilmektedir. Mevcut sistemde 6. hattın ön montaj ve montaj bölümlerinde 14 istasyon; 7. hatta ise ön montaj bölümünde 13, montaj bölümünde 18 istasyon bulunmaktadır. Hatlardaki mevcut sistem gözlemlenerek, MTM yöntemiyle operasyon süreleri hesaplanmıştır. Bu hatlarda üretilen ürünlere ek olarak, Whirlpool Şirketi'nin yeni ürünleri hakkında da çalışmalar yapılmıştır.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

İlk semptom olarak, değer katmayan operasyonların azaltılmasıyla iyileştirme yapılabileceği belirlenmiştir. 6. hattın ön montaj bölümünde

gerçekleşen operasyonların %78'inin değer katan operasyonlar, %22'sinin ise değer katmayan operasyonlar; 7. hattın ön montaj bölümündeki operasyonların %81,1'inin değer katan operasyonlar, %18,9'unun ise değer katmayan operasyonlar olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak, 6. hattın montaj bölümünde gerçekleşen operasyonların %80'inin değer katan operasyonlar, %20'sinin ise değer katmayan operasyonlar; 7. hattın montaj bölümündeki operasyonların %83,3'ünün değer katan operasyonlar, %16,7'sinin ise değer katmayan operasyonlar olduğu saptanmıştır.

İkinci semptom olarak, hatların mevcut istasyon sayılarında sezgisel yöntem ile iyileştirme yapılabileceği görülmüştür. Hatların iş yüklerine bağlı olarak yüklerin dengelenmesi için, öncüllük ilişkisi değiştirilmeksizin sezgisel çözümler oluşturulmuştur. Bu çözümler, istasyonların iş yüklerine ve işlerin öncüllük ilişkilerine bakılarak, var olan istasyonların birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Bulunan bu sezgisel çözümler sonucunda, istasyon sayısını düşürerek iyileştirme yapılabileceği görülmüştür. Örneğin, mevcut sistemde 6. hattın ön montaj bölümünde 14 istasyon bulunmakta iken, bulunan sezgisel çözümde 11 istasyon bulunmaktadır. Bu değişim sonucunda, %21 iyileştirme yapılabileceği görülmüştür.

2.3 Problemin tanımı

Montaj hattı dengeleme, gerçekleştirilmesi gereken işlerin, öncüllük ilişkilerine ve atama kısıtlarına uyularak, hattın verimliliğini ençoklayacak şekilde iş istasyonlarına atanmasıdır. Montaj hattı dengeleme projemizi yapma nedenimiz, Indesit'te üretimine yeni başlanmış olan yeni buzdolabı modellerinin üretildiği 6. ve 7. hatlarda verimliliği düşük olan sistemi iyileştirmektir. Yaptığımız gözlemler ve MTM analizleri sonucu, operasyonların standart süreleri belirlenmiş ve bu hatların istasyon sayılarında iyileştirmeler yapılabileceği saptanmıştır.

Bu iyileştirmelerin, yapılan gözlemler sonucu montaj hattı dengeleme tip 1 kategorisine göre yapılacağı saptanmıştır. Montaj hattı dengeleme tip 1 kategorisinde amaç, işlerin öncüllük ilişkilerine ve çevrim süresine bakılarak istasyon sayısını enazlamaktır. Bu iyileştirmeler sonucu hatta çalışan toplam işçi sayısında iyileştirme yapılacağından, işçi maliyetlerinde azalma hedeflenmektedir.

Klasik montaj hatlarından farklı olarak problemimizde çalışılan hatlarda işçiler hattın iki tarafında da çalışabilmektedir. Ayrıca, çevrim zamanı ve öncüllük kısıtlarının yanı sıra problemimizde eş zamanlı işler, alan kısıtlamaları gibi başka atama kısıtları da bulunmaktadır.

2.4 Teknik yazın taraması

İlk olarak, montaj hattı dengelenmesi hakkında bilgi edinmek amacıyla çalışmamızda kullanılacak olan ana ve yardımcı terimler araştırılmıştır. İkinci olarak, projenin hangi şekilde hayata geçirilebileceği hakkında fikir sahibi olabilmek adına iç ve dış kaynaklar üzerinde literatür taramaları yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda, Boysen vd. (2007)'de montaj hattı dengeleme problemlerinin özellikleri ve tiplerine göre detaylı bir şekilde sınıflandırıldığı, farklı tip montaj hatlarının nasıl dengelenebileceği hakkında detaylı bilgi verildiği görülmüştür [2].

İncelenen literatür doğrultusunda, bu projenin uygulandığı 6. ve 7. hatlar deterministik, çift taraflı, çoklu model, düz tip kategorisinde olan basit modellenmiş hatlar olarak sınıflandırılmıştır.

Ayrıca, bizim problemimizi ele alan literatürdeki matematiksel modeller incelenmiştir [5]. İncelenen literatür sayesinde, üzerinde çalıştığımız montaj hattı için hazırlanacak matematiksel modelin amaç fonksiyonu ve ele alınması gereken kısıtlar kolayca belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak, yaptığımız projede MTM-UAS yöntemi kullanıldığı için, MTM literatürü incelenerek ana ve yardımcı terimler

araştırılmıştır [3]. Daha sonra, metodu kavrayabilmek için fabrikanın bize sağladığı kaynak üzerinden literatür araştırması tamamlanmıştır [4].

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

Modelde kullanılan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri aşağıda tanımlanmıştır.

Kümeler

T : Görevler kümesi

S : İstasyonlar kümesi

S_L : İstasyonların tek numaralı sol tarafı; $S_L \subset S$

S_R : İstasyonların çift numaralı sağ tarafı; $S_R \subset S$

S_E : Alan kısıtlaması gereken operasyonların atanabileceği istasyon kümeleri; $S_E \subset S$

T_R : Sağ tarafa atanabilecek görevlerin kümesi; $T_R \subset T$

T_L : Sol tarafa atanabilecek görevlerin kümesi; $T_L \subset T$

T_B : Sağ veya sol tarafa atanabilecek görevlerin kümesi; $T_B \subset T$

T_E : Alan kısıtlaması gereken operasyonlara ait görev kümeleri; $T_E \subset T$

β : Aynı anda yapılması gereken görev grupları kümesi

T_c : Aynı anda yapılması gereken c grubuna ait görevlerin kümesi, $c \in \beta$

γ : Aynı istasyonda yapılması gereken görev grupları kümesi

T_α : Aynı istasyona atanması gereken α grubuna ait görevler, $\alpha \in \gamma$

P_i : i görevinin bitişik öncül görevleri, $i \in T$

Parametreler

C : Çevrim süresi

t_i : i görevinin süresi; $i \in T$

Karar Değişkenleri

$x_{ij} = 1$ eğer i görevi j istasyonuna atanıyorsa, 0 aksi takdirde

$y_j = 1$ eğer j istasyonu kullanıldıysa, 0 aksi takdirde

3.2 Matematiksel model

$$\text{Min} \sum_{j \in S} y_j \quad (1)$$

$$\sum_{j \in S_L} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in T_L \quad (2)$$

$$\sum_{j \in S_R} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in T_R \quad (2)$$

$$\sum_{j \in S} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in T_B \quad (2)$$

$$\sum_{i \in T} t_i x_{ij} \leq C y_j \quad \forall j \in S \quad (3)$$

$$\sum_{j \in S} j x_{ij} \leq \sum_{j \in S_R} j x_{kj} + \sum_{j \in S_L} (j+1) x_{kj} \quad \forall k \in T, i \in P_k \quad (4)$$

$$1 + \sum_{j \in S_L} j x_{ij} = \sum_{j \in S_R} j x_{kj} \quad \forall i \in T_L \cap T_C, k \in T_R \cap T_C, c \in \beta \quad (5)$$

$$\sum_{j \in S_E} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in T_E \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (7)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (7)$$

Amaç fonksiyonu (1), sabit çevrim süresine bağlı kalarak istasyon sayısını enazlamaktadır. Atama kısıtları (2), her işin uygun bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. İstasyonun sadece sol tarafında yapılabilecek işler, istasyonun sadece sağ tarafında yapılabilecek işler, istasyonun her iki tarafında da yapılabilecek işler için ayrı atama kısıtları tanımlanmıştır. Bu kısıtlar işlerin istasyonların uygun taraflarına atanmasını sağlamaktadır. Çevrim zamanı kısıtı (3), bir istasyonda gerçekleştirilen işlerin toplam sürelerinin çevrim süresini aşmasını önlemektedir. Öncüllük kısıtı (4), işlerin öncüllük ilişkileri dikkate alınarak atanmasını garanti etmektedir. Eş zamanlı işler kısıtı (5), aynı anda yapılması gereken işlerin aynı istasyonun sağ ve sol tarafına atanmasını sağlamaktadır. Alan kısıtı (6) belirli işlerin belirli istasyonlara atanmasını

sağlamaktadır. Yazılan matematiksel modelde bütün değişkenler ikili değer almalıdır (7).

Birleştirme kısıtı, ayrılmaması gereken işlerin (T_a) aynı istasyona atanmasını sağlamaktadır. Örneğin, yan panele sıcak gaz boru montajı istasyonundaki operasyonlar birbirinden ayrılmamalıdır, çünkü yan panel konveyörde iç plastik olmadan ilerleyememektedir. Bu nedenle bu istasyondaki operasyonlar için birleştirme kısıtı tanımlanmalıdır. Bu kısıt, aynı istasyonda yapılması gereken operasyonları birleştirerek tek bir operasyon olarak tanımlamaktadır.

Matematiksel model, karşılıklı istasyonlara atanmış olan işlerdeki öncüllük ilişkileri yüzünden oluşan gecikmeleri hesaba katmamaktadır. Çift taraflı istasyonlarda bazı işlerin karşı tarafa atanmış öncülünü beklemesi gerekmektedir. Modele bu kısıt eklemek yerine, modelin verdiği ilk çözüm sezgisel yöntem ile olurlu hale getirilecektir.

3.2.1 Çözüm yöntemi

Indesit Company, montaj hatlarının dengelenmesi için izlenmesi gereken yöntem ve metotlar için zaman etüdü yerine Whirlpool standartlarının kullanılmasını talep etmiştir. Bu nedenle, mikro sistem analizi için gerekli olan hesaplamalar MTM yöntemi ile yapılmıştır. Ayrıca, fabrikanın montaj bölümündeki 6. ve 7. hatlarda gerçekleştirilen her operasyonun MTM analizine ihtiyaç duyduğu aşıkardır.

MTM, bir işçiye atanan operasyonu hangi metotlar ile yerine getirmesi ve hangi standart sürede gerçekleştirmesi gerektiğini analiz etmek amacıyla özellikle endüstriyel ayarlamalarda kullanılan, önceden belirlenmiş hareket zaman sistemidir. MTM kısaltmasının açılımı “Method Time Measurement” olarak saptanmıştır. İlk olarak, MTM-1 metodu kullanılmış ve başarılı bir şekilde üretim sahasına uygulanmıştır. Buna ek olarak, Whirlpool şirketi tarafından kullanılan aynı zamanda seri üretim için de uygulanabilir olan MTM-UAS metodu geliştirilmiştir.

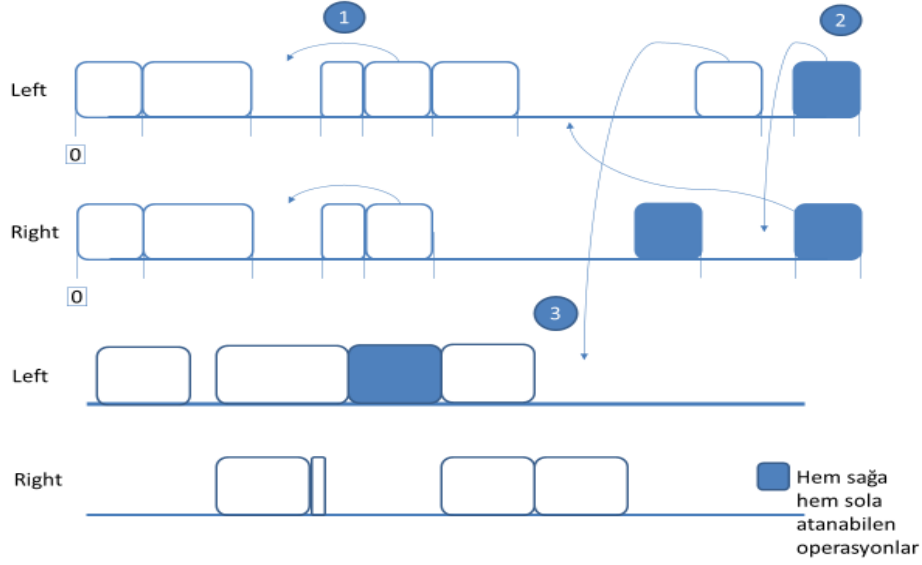
MTM-UAS yönteminin asıl amacı tempo takdiri olmaksızın işçi tarafından yapılan her hareketi ve operasyonların proses sürelerini standartlaştırmaktır. MTM-UAS yöntemi ile analiz yapabilmek için, öncelikle işçiler gözlemlenmiştir, sonra işçilerin sergiledikleri her hareket için farklı kodlar atanmıştır. Bir kod, iki hanesi harf ve bir hanesi sayı olmak üzere toplamda üç adet basamak içermektedir. Kodun birinci basamağı, işçinin uyguladığı temel operasyonu; ikinci basamağı, yapılan operasyonun zorluk derecesine bağlı olarak oluşan değişken faktörü; üçüncü basamağı ise işçinin eli ile gerçekleşen operasyon arasındaki uzaklığı simgelemektedir. Bütün kod çeşitlerinin zaman birimi TMU cinsinden ölçülmektedir: 1 TMU 0,036 saniyedir [4].

MTM-UAS hesaplamalarının yapılabilmesi için, MTM uzmanları ve sanayi danışmanımız tarafından beş gün boyunca MTM eğitiminden geçirildik. Fabrikanın 6. hattındaki ön montaj ve montaj hatlarında toplam 123 operasyon için 980 MTM-UAS kodu, 7. hattında ise toplam 118 operasyon için 1150 MTM-UAS kodu oluşturulmuştur. MTM analizlerinden elde edilen veriler, Excel VBA (Visual Basic for Applications) kodlarıyla optimizasyon programına uygun girdiler haline dönüştürülmüştür. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio'da çalıştırılan matematiksel modelin Excel dosyasından girdileri okuması ve model çalıştıktan sonra çıkan sonuçları Excel dosyasına yazdırması sağlanmıştır.

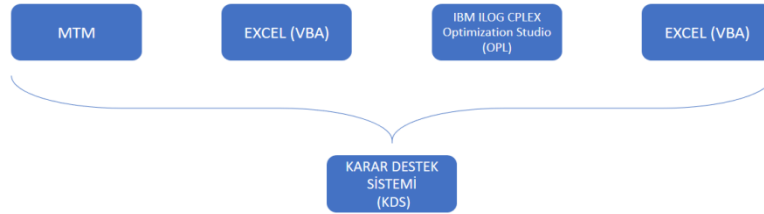
Modelin çözümünde dikkate alınmayan gecikmeleri gidermek adına sezgisel bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritmada ilk olarak, modelin atama sonuçları baz alınarak, operasyonların başlangıç ve bitiş süreleri alınıp, öncüllük skorlarına göre ilk çizelgeler hazırlanmıştır. Çizelgelemeyi iyileştirebilmek için ilk adım olarak, bir istasyonun sol ve sağ tarafına atanan operasyonlar, kendi aralarında boş zamanı azaltacak şekilde çizelgelenip, Şekil-1'deki 1. değişiklikte gösterildiği gibi

istasyonda iyileştirme yapılmıştır. Buna ek olarak, takt süresi olan 86 saniyeyi aşan operasyonlar, taraf kısıtlarına uygun olarak, bir sonraki istasyona atanmıştır. Bir istasyonun iki tarafında da gerçekleştirilebilecek olan operasyonlar, istasyonun her iki tarafı da dikkate alınarak atanmıştır. İkinci adım olarak, bir sonraki istasyonun sağ ve sol tarafındaki operasyonlar tekrar çizelgelenmiş, iyileştirme yapabilmek için aynı adımlar izlenmiştir. Bu adımlar, son istasyona kadar uygulanmıştır. Bu düzenlemelerden sonra, daha iyi sonuç elde edebilmek için iki farklı atama kombinasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kombinasyonlarla istasyonlardaki boş zamanlar doldurularak istasyon sayısı azaltılmaya çalışılmıştır. Bunlardan ilkinde, elde edilen çizelgelerde ilk olarak, bir istasyonun sağ veya sol tarafına atanabilecek operasyonlara bakılmış ve hattaki boş zamanlara, Şekil-1'deki 2. değişiklikte gösterildiği gibi öncüllük diyagramına uygun olarak atanmıştır. Bu adımdan sonra, istasyonlara atanan operasyonlar güncellenmiş ve bir istasyonun sol tarafına atanması gereken operasyonlar, hattaki tüm istasyonların sol tarafındaki boş zamanlara; bir istasyonun sağ tarafına atanması gereken operasyonlar, hattaki tüm istasyonların sağ tarafındaki boş zamanlara Şekil-1'deki 3. değişiklikte de gösterildiği gibi öncüllük diyagramına uygun olarak atanmıştır. Algoritmanın ikinci kombinasyonuna göre ise, elde edilen ortak çizelgelerde ilk olarak, bir istasyonun sol tarafına atanması gereken operasyonlar, hattaki tüm istasyonların sol tarafındaki boş zamanlara; bir istasyonun sağ tarafına atanması gereken operasyonlar, hattaki tüm istasyonların sağ tarafındaki boş zamanlara öncüllük diyagramına uygun olarak atanmıştır. Bu adımdan sonra, istasyonlara atanan operasyonlar güncellenmiş ve bir istasyonun sağ veya sol tarafına atanabilecek operasyonlar hattaki boş zamanlara, öncüllük diyagramına uygun olarak atanmıştır. Atama kombinasyonları uygulandıktan sonra, en az istasyon sayısını veren

sonuç seçilmiştir. Algoritma sonucu elde edilen çözümlerin VBA kodlarıyla kullanıcının kolayca anlayabileceği sonuçlara dönüştürülmesi üzerine çalışılmıştır. Sonuçlar raporlanırken görseller ve gösterge tabloları hazırlanmıştır.



Şekil 1. Algoritma Adımları



Şekil 2. KDS akışı

Karar destek sisteminin (KDS) çözüm ortakları ve akışı Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu yöntem ve metodları kullanarak kullanıcı dostu bir KDS (Karar Destek Sistemi) hazırlanmaktadır. Bu sistemde, optimizasyon programı için gerekli olan girdilerin kullanıcı tarafından KDS’ye girilmesi istenecektir. Bu girdiler arasında; hatta çalışacak toplam işçi sayısı, operasyon sayısı, operasyon süreleri, operasyon

tanımları ve varsa özel durumlar (örn:alan kısıtı, birleştirme kısıtı, eş zamanlı işler kısıtı) olacaktır. Ardından VBA kodlarıyla çalıştırılacak olan optimizasyon programı içerisindeki matematiksel model, Matematiksel Model bölümünde bahsedilen kısıtları ve amaç fonksiyonunu içermektedir. Modelin çıktıları, Excel'e aktarılacaktır ve aktarılan çıktılar, daha sonra sezgisel yöntemle olurlu hale getirilerek kullanıcının kolay anlayabileceği şekilde görsellerle ve tablolarla raporlanacaktır.

4. Sayısal Sonuçlar

6. ve 7. hatlarda değer katmayan operasyonların azaltılmasıyla elde edilen iyileştirmeler istasyon bazında Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. 6. Hat istasyonlarındaki değer katmayan operasyonların iyileştirilmesi

6. HAT ÖN-MONTAJ				6. HAT MONTAJ			
İstasyon	Eski	Yeni	Yüzde	İstasyon	Eski	Yeni	Yüzde
İstasyon 1	81,72	79,9	2,23%	İstasyon 1	78,08	69,90	10,48%
İstasyon 2	79,2	73,3	7,45%	İstasyon 2	75,60	70,20	7,14%
İstasyon 3	43,4	43,4	0,00%	İstasyon 3	84,06	79,20	5,78%
İstasyon 4	76,68	73,6	4,02%	İstasyon 4	86,00	86,00	0,00%
İstasyon 5	60,5	58,6	3,14%	İstasyon 5	85,77	85,77	0,00%
İstasyon 6	70,3	67,6	3,84%	İstasyon 6	34,56	34,00	1,62%
İstasyon 7	68,7	63,1	8,15%	İstasyon 7	51,66	47,00	9,02%
İstasyon 8	64,44	62,6	2,86%	İstasyon 8	65,34	61,38	6,06%
TOPLAM	544,94	522,1	4,19%	İstasyon 9	64,14	63,50	1,00%
				TOPLAM	625,21	596,95	4,52%

4.1 Doğrulama, geçirme ve duyarlılık analizi

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio'da çalıştırılan matematiksel model, 6. hattın ön montaj bölümü için 10,83 saniyede sonuç vermiş iken, montaj bölümü için 102,54 saniyede sonuç vermiştir. Aynı şekilde matematiksel model, 7. hattın ön montaj bölümü için 20,55

saniyede sonuç vermiş iken, montaj bölümü için 142,87 saniyede sonuç vermiştir. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio'dan çıkan ve alt sınırı veren model sonuçlarıyla, sezgisel yöntemle elde edilen sonuçların ve sezgisel algoritma sonuçlarının eşit olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara bakılarak sezgisel yöntemin bu hatlar için optimal sonuçlara ulaştığı tespit edilmiştir.

Tablo 2. 7.hat istasyonlarındaki değer katmayan operasyonların iyileştirilmesi

7. HAT ÖN-MONTAJ				7.HAT MONTAJ			
İstasyon	Eski	Yeni	Yüzde	İstasyon	Eski	Yeni	Yüzde
İstasyon 1	61,92	59,76	3,49%	İstasyon 1	76,10	69,44	8,75%
İstasyon 2	63,18	62,80	0,60%	İstasyon 2	71,82	71,82	0,00%
İstasyon 3	75,24	75,06	0,24%	İstasyon 3	67,32	65,34	2,94%
İstasyon 4	76,86	72,20	6,06%	İstasyon 4	64,98	64,98	0,00%
İstasyon 5	60,48	58,70	2,94%	İstasyon 5	68,58	66,80	2,60%
İstasyon 6	63,00	59,60	5,40%	İstasyon 6	63,90	63,90	0,00%
İstasyon 7	82,84	76,40	7,77%	İstasyon 7	61,20	61,20	0,00%
İstasyon 8	78,12	74,32	4,86%	İstasyon 8	32,50	32,50	0,00%
TOPLAM	561,64	538,84	4,06%	İstasyon 9	67,86	67,86	0,00%
				İstasyon 10	63,40	63,40	0,00%
				İstasyon 11	65,52	63,70	2,78%
				İstasyon 12	64,55	64,55	0,00%
				İstasyon 13	50,76	49,90	1,69%
				Station 14	48,60	47,50	2,26%
				TOPLAM	867,09	852,89	1,64%

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Bu projenin başarılı, sürekli olması ve sektördeki diğer fabrikalardaki montaj hatlarında da uygulanabilmesi için bir karar destek sistemi üzerinde çalışılmaktadır. Bu karar destek sisteminin belirli girdileri ve çıktıları olacaktır ve bu girdiler çoğu montaj hattı için geçerli girdiler olacağından, sektördeki diğer montaj hatları için de kolaylıkla uygulanabilecektir. Problemimizde düşünülen atama kısıtlarının da

birçok montaj hattında ortaya çıkabilecek kısıtlar olması projenin diğer montaj hatlarına uygulanabilirliğini desteklemektedir.

Tasarlanan karar destek sistemi sonucu elde edilen çıktılar sayesinde, boş zamanı fazla olan hatlar dengelenecek, hatların en etkili ve verimli şekilde kullanılmasını sağlayacak şekilde, işler atanacaktır. Buna ek olarak, hatların en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan bu sistem, işçi maliyetlerinin düşürülmesine ve kar marjının artırılmasına katkıda bulunacaktır. Ayrıca tasarlanacak Karar Destek Sistemi, Indesit Company’de olduğu gibi, birçok fabrikanın üretim bölümündeki montaj hatlarına da hitap edecektir. Tasarlanacak karar destek sisteminin, beyaz eşya sektöründen farklı olarak otomotiv, elektronik gibi montaj hatlarının yoğun olduğu farklı sanayi alanlarında da kullanılabilir nitelikte olacağı öngörülmektedir.

Buna ek olarak, geliştirilecek olan karar destek sistemi ve MTM analizleri aynı zamanda sistemin uygulanacağı fabrikanın, Endüstri 4.0 devrimine daha kolay ayak uydurmasını sağlayacak niteliktedir. Dolayısıyla, gelecekte oluşacak olan sanayi devrimine karşı hala aktif olmayı hedefleyen firmalar için bu proje elverişli ve uygulanabilir olacaktır. Mevcut sistem önerilen yöntemlerle kıyaslanarak, bütün hatlar için elde edilen istasyon sayılarındaki iyileştirmeler ve yüzde iyileştirmeler Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Hatlarda yapılan iyileştirmeler

HAT	Mevcut Sistem	Model Sonucu (Alt Sınır)	Sezgisel Yöntem Sonucu	Algoritma Sonucu	Yüzde İyileştirme
6. HAT ÖN-MONTAJ	14	11	11	11	21,43%
6. HAT MONTAJ	14	9	9	9	35,71%
6. HAT TOPLAM	28	20	20	20	28,57%
7. HAT ÖN-MONTAJ	13	10	10	10	23,08%
7. HAT MONTAJ	18	14	14	14	22,22%
7. HAT TOPLAM	31	24	24	24	22,58%

5. Sonuç ve Öneriler

Projenin sonunda, montaj hattı dengeleme sürecinde 6. hattaki 123 operasyon için 980 MTM kodu; 7. Hatta ise 118 operasyon için 1150 MTM kodu oluşturuldu. Bu kodları oluştururken toplam 1150 saat harcandı. MTM tekniğine bağlı olarak, değer katan ve değer katmayan operasyonlar saptandı ve değer katmayan operasyonlar azaltılarak, iyileştirmeler yapıldı. Yapılan iyileştirmeleri genelleyecek olursak, fabrikanın 6. hattın ön montaj ve montaj kısmında ortalama %28,50; 7. hattın ön montaj ve montaj kısmında ortalama %25,79 iyileştirme yapıldı. Modelden alınan sonuçlar, sezgisel yöntemle elde edilen sonuçlarla aynı olduğu için sezgisel yöntem ile optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Sezgisel yöntem, VBA yardımıyla kodlanmış olup karar destek sistemine eklenerek çıktıların gerçekleştirilebilir şekilde olması sağlanmıştır. Buna ek olarak, hatların en iyi şekilde kullanılmasını sağlayan bu sistemin, montaj hatlarının yoğun olduğu farklı sanayi alanlarında da kullanılabilir nitelikte olacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Indesit Company.(2003,May 29). *Indesit History*.
2. Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*. 183, pp.674-693.
3. International MTM Directorate. *Introduction to MTM-UAS*. Retrieved from the International MTM Directorate website: <http://mtm-international.org/introduction-to-mtm-uas/>
4. “MTM UAS Üniversal Analiz-Sistemi El Kitabı”,(2008).
5. Kim, Y.K., Song, W.S., Kim, J.H. (2009). A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing. *Computers and Operations Research*, 36 (3), pp.853-865.

Ön Montaj Hatlarında Esnek Atölye Tipi Çizelgeleme

Bosch Termoteknik Isıtma ve Klima Sanayi Ticaret Anonim Şirketi

Proje Ekibi

Pelin Demir

Seren Sezer

Şeyma Kübra Kaya

Tuğçe Çetinbudak

Umer Farooq Azeem

Endüstri Mühendisliği
Yaşar Üniversitesi, İzmir

Şirket Danışmanı

Güler Öztürk, Ar-Ge Mühendisi

Hüseyin Kaya, Planlama Mühendisi

Akademik Danışman

Yrd. Doç. Dr. Önder Bulut, Araş. Gör. Sinem Özkan, Yaşar Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Bu projede, Bosch Termoteknik'in ön montaj hatlarında bulunan, sıra bağımlı ayar zamanlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemi ele alınmıştır. Projedeki amaç, deneyimlere dayanarak yapılan mevcut çizelgelerin yerine bilimsel metotlar kullanılarak oluşturulmuş çizelgelerle, erken ve geç bitirme sürelerinin ağırlıklı toplamalarını enküçüklemek ve kullanıcı dostu bir karar destek sistemiyle çizelgeleri firmaya sunmaktır. Boyutu büyük olan gerçek hayat probleminde genetik algoritma ve değişken darboğazlı sezgisel yöntemleri kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Esnek atölye tipi çizelgeleme, sıra bağımlı ayar zamanları, ağırlıklı geç ve erken bitirme amaçlı, genetik algoritma, değişken darboğazlı sezgisel yöntem

1. Genel Sistem Analizi

1998 yılında Türkiye’de faaliyet göstermeye başlayan Bosch Termoteknik ilk üretim sahasını Manisa’da kurmuş, duvar tipi yoğuşmalı ve konvansiyonel kombi imalatına başlamıştır. Manisa üretim sahasında araştırma ve geliştirme ve kalite gibi yönetimsel departmanların yanı sıra, MOE3 ve MOE1 adında iki teknik bölüm yer almaktadır. MOE3 kombi bileşenlerini üreten bir iç tedarikçidir. MOE1 ise, cihaz planlaması ve üretimini gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda, projemizin gerçekleştirildiği MOE1 çizelgeleme, süreç tasarımı, yöntem mühendisliği ve hat iyileştirme gibi temel alanlarda çalışmalar yapıp imalat süreci içerisinde önemli bir rol üstlenmektedir.

2. Problemin Belirlenmesi ve Teknik Yazın Taraması

2.1 Mevcut sistemin analizi

Fabrikada ön montaj ve montaj olmak üzere iki ana üretim hattı bulunmaktadır. Ön montaj hattı, montaj hattını beslemektedir. Fabrika içerisinde altı adet yalın olarak isimlendirilen montaj hattı bulunmaktadır. Projemizin gerçekleştiği on ön montaj hattının isimleri şu şekildedir: Davlumbaz, cotronic, yanma odası, brülör, WB6, hidrolik, pres, boyahane, HCM ve yedek parçadır. Yıllık üretim kapasitesi 700.000 olan bir fabrikada montaj hatları üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılırken, ön montaj hatlarına bu önem verilmemiştir. Montaj hattında üretilen bitmiş ürünlerin çizelgelerine göre ön montaj hatlarının haftalık ihtiyaçları oluşur. Ön montaj hatlarından sorumlu grup başları çizelgeleri tecrübelerine dayanarak oluşturur.

2.2 Sistemde gözlemlenen semptomlar

Montaj hatlarının ihtiyaçlarına yönelik oluşturulan ön montaj hatları çizelgelemesinde, bilimsel metotlara dayalı bir sürecin varlığından söz edilememektedir. Çizelgeler grup başlarının tecrübeleri dahilinde gerçekleştirilmektedir. Çizelgelerin performansı ölçülemez ve

çizelgelerin daha iyilerinin olup olmadığı sorusu ile karşılaşılır. Ayrıca, yeni siparişler gelip çizelgeler tekrar oluşturulunca bu durum tekrar eder ve eniyeye ulaşma ihtimalinden uzaklaşılır.

Diğer bir semptomsa, ön montaj hatlarında üretilecek yarı mamullerin hafta içine dengeli dağıtılmaması nedeniyle hafta başlarında veya sonlarında stoklar oluşmasıdır. Bir haftalık yarı mamul bir günde üretilerek stoklanmakta ve diğer günler bu stoklar eritilmez.

2.3 Problemin tanımı

Bosch Termoteknik ön montaj hatları çizelgelerinin, erken ve geç bitirme süreleri, ayar süreleri, paralel makineler arasındaki seçimler ve stok miktarları gibi etkenler aynı anda göz önünde bulundurulmadan yalnızca tecrübeye dayalı olarak oluşturulması en iyi çözüme ulaşma ihtimalini azaltır. Buna göre, Bosch'un çizelgeleme problemi bilimsel metotları kullanarak bu etkenleri dikkate alan ve performansı ölçülebilir çizelgelerin eksikliğidir.

2.4 Teknik yazın taraması

Yazın taraması çizelgelemeyle ilgili yapılmıştır. Çizelgeleme problemleri, makine sayıları ve özellikleri, işlem özellikleri ve amaç fonksiyonları açısından sınıflandırılır (Pinedo, 2001). Sistem analizi ve çizelgeleme sınıfları incelendiğinde problemimize uygun olan sınıflar tek makineli ve esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri olarak belirlendi. Tek makineli işlerin çizelgelemesi problemi, esnek atölye tipi çizelgelemenin özel durumu olduğu için matematiksel model esnek atölye tipi çizelge problemi için oluşturuldu. Araştırma yaparken, sıralama ve atama yaparak çizelgeleri oluşturan esnek atölye tipi çizelgeleme problemi incelendi (Özgüven vd., 2010). Aynı zamanda, problemimizde sıra bağımlı ayar süreleri olduğu için geciken iş sayısı ve gecikme aralığı ölçütlü zamana bağımlı öğrenme etkili tek makine çizelgeleme problemi (Eren, 2011) modelimize temel oluşturdu. Son

olarak, yapay arı kolonisi algoritmasıyla çözülen çok amaçlı esnek atölye tipi çizelgeleme problemi (Taşgetiren vd., 2014) matematiksel modelimizi oluşturmada bize yol gösterdi.

Esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerinin çözümü, işleri makineye atama ve sıralama olarak iki temel problemden oluştuğu için çözümü daha zordur. Çözüm yöntemleri arasında amaç fonksiyonumuz işlerin ağırlıklı geç veya erken bitmeye yakın olan değişken darboğazlı sezgisel çözüm yöntemi incelendi (Pinedo, 2001). Aynı zamanda bu yöntem esnek atölye tipi çizelgeleme problemlerine de uygulanabilir bir yöntemdir. En iyi çözüme ulaşmak için farklı stratejileri birleştiren esnek atölye tipi çizelgeleme problemleri için genetik algoritma da çözüm için incelenmiştir (Pezzella vd., 2008).

3. Problem Formülasyonu ve Çözüm Yöntemleri

3.1 Kısıtlar ve varsayımlar

Esnek atölye tipi çizelgeleme problemi için kısıt ve varsayımlar aşağıda belirtilmektedir.

- Sıfır anında tüm işler hazırdır.
- İşlem süreleri sabit olup bilinmektedir.
- Sıra bağımlı ayar zamanları sabit ve bilinmektedir.
- Taşıma süreleri değerlendirilmemektedir.
- Öne alım hakkına izin verilmemektedir.
- Yeniden dolaşıma izin verilmemektedir.
- Bir makine aynı anda yalnızca bir operasyon yapabilmektedir.
- Bir makine sadece bir tip operasyon yapabilmektedir.
- Her makine, tek operatör tarafından kontrol edilmektedir.
- Makine arızaları yoksayılmıştır.

3.2 Matematiksel model

Esnek atölye tipi çizelgeleme probleminin matematiksel modelinde yer alan kümeler, parametreler ve karar değişkenleri ile amaç fonksiyonu ve kısıtlar aşağıda yer almaktadır.

Kümeler ve Parametreler:

A : ön montaj hatları kümesi

J_k : k ön montaj hattındaki işlerin kümesi ($k \in A$)

O_{kj} : j işinin k ön montaj hattındaki operasyonlarının kümesi

($k \in A$ ve $j \in J_k$)

M_{ki} : i operasyonunun k ön montaj hattında işlendiği makinelerin kümesi

($k \in A$ ve $i \in O_{kj}$)

R_{kj} : j işinin k ön montaj hattındaki operasyonlarının sıralı kümesi

($k \in A$ ve $j \in J_k$)

K_j : j işinin uğrayacağı ön montaj hatlarının sıralı kümesi (rotası)

($j \in J_k$)

d_j : j işinin teslim tarihi ($j \in \bigcup_{k \in A} J_k$)

p_{kjim} : j işinin i operasyonunun k ön montaj hattındaki m makinesinde

işlem süresi ($k \in A, j \in J_k, i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$)

$s_{kjj'im}$: i operasyonun k ön montaj hattındaki m makinesinde, j' işinden

hemen önce j işi için yapılması durumundaki ayar süresi ($k \in A,$

$j \in J_k, J \in J_k - \{j\}, i \in O_{kj} \cap O_{kj'}$ ve $m \in M_{ki}$)

α : erken bitirmenin ağırlıklı katsayısı (($1 - \alpha$) geç bitirmenin ağırlıklı katsayısı)

L : büyük bir sayı

t_j : j işinin uğradığı son ön montaj hattı ($j \in J_k$)

u_j : j işinin t_j ön montaj hattındaki son operasyonu ($j \in J_k$)

Karar Değişkenleri:

$$Y_{kjim}: \begin{cases} 1, & j \text{ işinin } i \text{ operasyonu, } k \text{ ön montaj hattının } m \text{ makinesinde} \\ & \text{işlenirse } (k \in A, j \in J_k, i \in O_{kj} \text{ ve } m \in M_{ki}) \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

$$X_{kjj'im}: \begin{cases} 1, & i \text{ operasyonu } k \text{ ön montaj hattındaki } m \text{ makinesinde, } j' \\ & \text{işinden hemen önce } j \text{ işi için yapılırsa } (k \in A, j \in J_k \\ & j' \in J_k - \{j\}, i \in (O_{kj} \cap O_{kj'})) \text{ ve } m \in M_{ki} \\ 0, & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

ST_{kjim} : j işinin i operasyonunun k ön montaj hattındaki m makinesinde başlama zamanı ($k \in A, j \in J_k, i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$)

C_{kjim} : j işinin i operasyonunun k ön montaj hattındaki m makinesinde tamamlanma süresi ($k \in A, j \in J_k, i \in O_{kj}, m \in M_{ki}$)

C_j : j işinin tamamlanma süresi ($j \in J_k$)

Problemin amaç fonksiyonu erken ve geç bitirmenin ağırlıklı toplamının enküçülenmesidir:

$$\min \sum_{j \in J_k} \alpha \max\{d_j - C_j, 0\} + (1 - \alpha) \max\{C_j - d_j, 0\}$$

İlk kısıt, makine ataması ile ilgilidir. Bir işin bir operasyonu kesinlikle bir makineye atanmalıdır. Her $k \in A, j \in J_k$ ve $i \in O_{kj}$ için:

$$\sum_{m \in M_{ki}} Y_{kjim} = 1 \quad (1)$$

Sonraki iki kısıt, her işin kendine has bir öncülü ve takip eden işi bulunmaktadır. Aşağıdaki iki kısıt bunu sağlamaktadır. Her $k \in A, j' \in (J_k - \{j\})$ ve $i \in O_{kj}$ için:

$$\sum_{j' \in J_k} X_{kjj'im} = 1 \quad (2)$$

ve her $k \in A, j \in J_k$ ve $i \in O_{kj}$ için:

$$\sum_{j' \in (J_k - \{j\})} X_{kjj'im} = 1 \quad (3)$$

Herhangi j ve j' işleri için, ya j işi j' işini takip edebilir, ya j' işi j işini takip edebilir ya da bu iki iş arasında bir öncüllük ilişkisi yoktur. Her $k \in A, j \in J_k, j' \in (J_k - \{j\}), i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$ için:

$$X_{kjj'im} + X_{kj'jim} \leq 1 \quad (4)$$

İki iş arasında herhangi bir öncüllük ilişkisi mevcut ise; bu iki iş aynı makineye atanmalıdır. Her $k \in A, j \in J_k, j' \in (J_k - \{j\}), i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$ için:

$$2 - (Y_{kjim} + Y_{kj'im}) \leq L(1 - X_{kjj'im}) \quad (5)$$

Bir işin bir makineye atanmaması durumunda, o işin o makineye ait başlama ve tamamlanma sürelerinden söz edilemez. Her $k \in A, j \in J_k, i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$ için:

$$ST_{kjim} + C_{kjim} \leq Y_{kjim} L \quad (6)$$

Bir işin tamamlanma süresi, o işin başlama zamanı, işlem süresi ve ayar sürelesinin toplamına eşit ya da toplamından fazla olmalıdır. Her $k \in A, j \in J_k, j' \in (J_k - \{j\}), i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$ için:

$$ST_{kj'im} + p_{kj'im} + \sum_{j \in J_k} s_{kjj'im} X_{kjj'im} - L(1 - Y_{kj'im}) \leq C_{kj'im} \quad (7)$$

Bir işin öncülü olan başka bir iş varsa, o iş ancak öncülü tamamlandıktan sonra başlayabilir. Her $k \in A, j \in J_k, j' \in (J_k - \{j\}), i \in O_{kj} \cap O_{kj'}$ ve $m \in M_{ki}$ için:

$$C_{kjim} - L(1 - X_{kjj'im}) \leq ST_{kj'im} \quad (8)$$

Bir işin rotasındaki bir operasyon bitmeden onu takip eden operasyon başlayamaz. Her $k \in A, j \in J_k, i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$:

$$\sum_{m \in M_{ki}} C_{kj(i-1)m} \leq \sum_{m \in M_{ki}} ST_{kjim} \quad (9)$$

Bir işin tamamlanma süresi, o işin rotasındaki son operasyonun tamamlanma süresi olarak tanımlanır. Her $t_j \in K_j, j \in J_k, u_j \in R_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$:

$$\sum_{m \in M_{t_j u_j}} C_{t_j u_j m} \leq C_j \quad (10)$$

Diğer kısıtlar, karar değişkenlerinin negative olmaması koşulunu sağlamaktadır. Her $k \in A, j \in J_k, i \in O_{kj}$ ve $m \in M_{ki}$ için:

$$Y_{kji m} \in \{0,1\} \quad (11)$$

$$X_{kjj' im} \in \{0,1\} \quad (12)$$

$$ST_{kji m} \geq 0 \quad (13)$$

$$C_{kji m} \geq 0 \quad (14)$$

$$C_j \geq 0 \quad (15)$$

Bosch Termoteknik probleminin şuanki boyutu 416 ürünün 10 ön montaj hattında 48 makineyle çizelgesidir. Bir ürün en fazla iki ön montaj hattına uğrayabilir. Bazı operasyonlar için en fazla 3 alternatif makine vardır.

3.2.1 Çözüm yöntemi

Tipik atölye tipi çizelgeleme problemi (ATÇP), doğası gereği NP-zor sınıfı problemlerden biridir. Bizim problemimizde tipik ATÇP'den farklı olarak, bazı işlerin yapıldığı makinelerin sıra bağımlı ayar süreleri ve alternatifleri mevcuttur. Bu da problemin sıra bağımlı ayar süreli esnek atölye tipi çizelgeleme problem olarak değerlendirilmesine ve zorluğunun artmasına neden olmuştur. Sezgisel yöntemler, buna benzer zor problemlerin çözümlerine kolaylıkla ulaşıp makul süre içerisinde eniyiye yakın bir sonuç elde ederler. Problemin çözümü için sezgisel yöntemlerden olan Pinedo ve Singer'ın (1999) ağırlıklı geç bitirmeyi enküçükleyen değişken darboğazlı algoritması (DDA) ve genetik algoritmayı (GA) inceledik. Ağırlıklı geç bitirmeyi enküçükleyen

DDA'da her makine kendi başına bir alt problem olarak değerlendirilir ve algoritma aşağıdaki adımlarla çalışır (Pinedo, 2002):

Adım 1: Çizelgelenecek bir makine üzerindeki her j işinin i operasyonu için en erken başlama zamanı r_{ji} ve en geç bitme zamanı (lokal termin süresi) d_{ji} hesaplanır.

Adım 2: En küçük r_{ji} değeri t olarak belirlenir.

Adım 3: Çizelgelenecek her operasyon için $I_{ji}(t)$ sıralama indeksleri r_{ji} , d_{ji} ve işlem süresi p_{ji} kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$I_{ji}(t) = \frac{1}{p_{ji}} \exp(-\max((d_{ji} - p_{ji}) + (r_{ji} - t), 0))$$

Adım 4: En büyük indekse sahip iş çizelgelenir ve çizelgelenecek iş kalmayana dek 3. adıma geri dönlür.

Adım 5: Çizelgelenecek her makine için ilk 4 adım uygulandıktan sonra, bu makineler için ayrı ayrı amaç fonksiyonu değerleri hesaplanır ve değeri en büyük olan makinenin iş sırası kesinleştirilir. Sonrasında çizelgenecek makine kalmayana kadar bu adımlar tekrar uygulanır.

Makineler üzerindeki sıranın belirlenmesini sağlayan sıralama indeksi I_{ji} , ağırlıklı geç bitirmeyi enküçükleyen DDA'da ATC (Apparent Tardiness Cost) kuralından yola çıkılarak oluşturulmuş bir indekstir ve yukarıdaki adımlarda sadeleştirilmiş hali kullanılmıştır. $d_{ji} - p_{ji}$ ifadesi işlerin lokal termin sürelerinden ne kadar uzakta olduğunu gösterir. $r_{ji} - t$ ifadesiyse makinenin işi bekleme süresini tutar. Bu ifadelerin toplamının maksimumu (geç bitirme süresi) üstel fonksiyonun içine yazılarak gecikmeye meyilli işlerin makinede önceliği sağlanır. Geç biteceği tahmin edilen işlerden işlem süresi küçük olan iş ön sıralara yerleştirilerek toplam geç bitirme süresi azaltılmaya çalışılmıştır. İşlem süresinin üstel fonksiyonun dışında olmasının nedeni ise gecikmeden daha az ağırlığa sahip olmasının istenmesidir.

Problemimizin amaç fonksiyonu erken ve geç bitirme sürelerinin ağırlıklı toplamının enküçüklenmesi olduğu için sıralama indeksi bu amaca fayda sağlayacak şekilde modifiye edilmiştir.

$$I_{ij}(t)_{modifiye} = \frac{1}{p_{ij}} \exp(-\alpha \cdot \max((d_{ij} - p_{ij}) + (r_{ij} - t), 0)) \\ + p_{ij} \exp(-(1 - \alpha) \cdot \max((p_{ij} - d_{ij}) - (r_{ij} - t), 0))$$

Geç bitirme hesaplanırken negatiflikle karşılaşılması durumunda iş geç değil, bahsedilen negatif değerın mutlağı kadar erken bitmiştir. Bu bilgiden yola çıkılarak formüldeki geç bitirmenin hesaplandığı, maksimum fonksiyonu içindeki ifadenin negatifi alınarak erken bitirme süresi hesaplanmıştır. İşlem süresinin geç bitirme ifadesindeki aksine, erken bitirmede çarpım olarak eklenmesinin nedeni; erken biteceği tahmin edilen işlerden, işlem süresi büyük olan işin ön sıralara koyularak toplam erken bitirme süresini enküçükmektir. Yapılan modifikasyon sayesinde erken ve geç bitirme sürelerinin ağırlıklı toplamını enküçükleyen DDA'ya ulaşılmıştır. Ancak, algoritma hala esnek atölye tipi çizelgeleme probleminin çözümünde gereken alternatif makineler arasından seçimi gerçekleştirememektedir. Bunun için, sıralamadan önce atama yapılması gerektiğine karar verilmiştir. Bu bağlamda, atama yapılırken atanacak işin alternatif makineler üzerindeki işlem süreleri ve makinelerin müsaitlik durumları göz önünde bulundurulmuştur. Operasyon için işlem süresi küçük ve operasyona başlayabileceği zaman yakın olan makineye öncelik verilmiştir. Makine atamaları gerçekleştikten sonra problem atölye tipi üretim sistemi gibi düşünülebilir.

Diğer bir çözüm yöntemi genetik algoritma metasezgisel bir çözüm algoritmasıdır. Mastrolilli, Chen ve benzer çalışmalar EATÇ probleminde makine iş yükü kurallarından daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Genetik algorithmada önce, her biri çözümü gösteren

kromozomlar oluşturulur. Kromozomlardaki genler sırasıyla iş, operasyon ve atandığı makineleri gösterir (Şekil 1). Olası çözümlerde rotalara bağlı kalınır ve popülasyon oluşturulur. Operasyonlar makinelere atanırken operasyonun olası makinelerinden rasgele atama yapılır. Her kromozom için uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri, problemin amaç fonksiyonudur. Her iterasyonda uygunluk değeri en iyi sonuçlar seçilir. Bu seçim ikili seçim ve doğrusal sıralama metotlarıyla yapılır. İkili seçimde, en iyi iki kromozom seçilirken, olasılık fonksiyonu kullanılır. Fonksiyona göre en iyi kromozomlar seçilir. Seçimden sonra, çaprazlama ve mutasyon geçiren kromozomlar oluşturulur. Mutasyon tek kromozoma uygulanır ve operasyon sırası aynı kalarak sadece operasyonun alternatifi varsa makinesi değişir. Çaprazlamadaysa, iki kromozom rotalara bağlı kalarak rasgele çaprazlanır. Hedeflenen popülasyon sayısına ulaşıncaya en iyi sonuca ulaşan kromozom çözüm olarak seçilir (Pezzella vd., 2008).

| (1,1,3) | (1,2,1) | (2,1,3) | (2,2,4) | (3,1,3) | (1,3,2) | (3,2,1) | (2,3,4) |

Şekil 1. Kromozom Gösterimi

4.Sayısal Sonuçlar

4.1 Doğrulama, geçерleme ve duyarlılık Analizi

Çözüm algoritması oyuncak verilerle oluşturulmuş, Tablo 1’de özellikleri verilen problemler üzerinde test edilmiştir.

Tablo 1. Problemlerin Boyutları

	Problem 1	Problem 2
İş Sayısı	3	2
Rota Sayısı	3	2
Operasyon Sayısı	5	3
Makine Sayısı	7	4

IBM ILOG CPLEX kullanılarak yapılan doğrulama adımının beraberinde problemlerin eniyileri bulunmuştur. İlk olarak problemler, Pinedo’nun ağırlıklı geç bitirmeyi enküçükleyen DDA’sını kullanarak çözüldü. Sonuçların Tablo 2’de gösterildiği gibi optimale oldukça yakın

olduğu gözlemlendi. Ardından, problemler erken ve geç bitirme sürelerinin ağırlıklı toplamının enküçüklenmesi amacı için DDA ve GA yardımıyla çözüldü ve sonuçları Tablo 3’de gösterildi. Problem boyutu büyüdükçe erken ve geç bitirme sürelerinin ağırlıklı toplamının enküçüklenmesi amacı için DDA’nın eniyiden uzaklaştığı, genetiğin ise eniyiye yakın sonuçlar vermeye devam ettiği gözlemlenmiştir. Ancak firmadan gerçek veriler henüz alınamadığından geçerleme yapılamamış ve bu nedenle algoritmaların gerçek veriler üzerindeki davranışları gözlemlenememiştir. Veriler sağlandığında algoritmaların kıyası tekrar yapılacaktır.

Tablo 2. Geç Bitirmeyi Enküçükleyen DDA için Sonuçlar

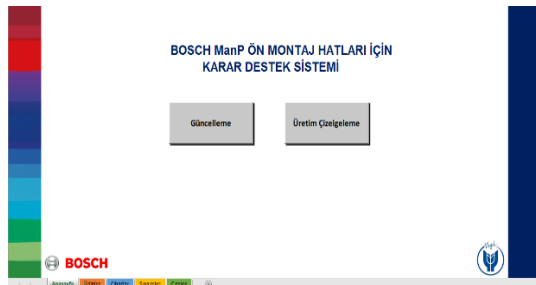
	Algoritma Sonucu	En İyi Sonucu	% Optimize Yakınlık
Problem 1	22	20,9	%86
Problem 2	0	0	%100

Tablo 3. Modifiye Edilen DDA ve GA için Sonuçlar

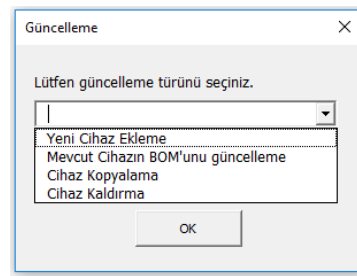
	1.Algoritma Sonucu	2.Algoritma Sonucu	En İyi Sonucu	% Optimize Yakınlık
Problem 1	38	21,45	20,9	%86
Problem 2	0	0	0	%100

4.2 Karşılaştırma ve uygulama

Kullanıcı, Karar Destek Sistemi’ne (KDS) giriş yaptığında Şekil 2’de görülen anasayfa karşısına çıkmaktadır. KDS’nin iki ana modülü vardır: Güncelleme ve üretim çizelgeleme.



Şekil 2. KDS Ana Ekranı



Şekil 3. KDS Güncelleme Modülü

Üretim çizelgeleme modülü montaj hatlarının talep ettiği yarı mamullerin tam zamanında yetişebilmesi için yarı mamullerin operasyonlarını çizelgelemektedir. Çizelgeleme için kullanıcıya iki çözüm yöntemi sunacağız. Bu sayede kullanıcıya seçme ve kıyaslama imkanı sağlanacak. Diğer modüle kullanıcıya ürünlerle ilgili güncellemeler yapma olanağı sağlamaktadır. Güncelleme modülünün alt kırılımları Şekil 3’de gösterilmiştir.

Bu sayede ön montaj hatlarında, hangi yarı mamulden, hangi zaman aralığında, hangi vardiyada, kaç adet üretim yapılacağı gibi bilgilere ulaşılmaktadır. KDS sonuç ekranıysa Tablo 4’deki gibidir.

Tablo 4. KDS Sonuç Ekranı

Ürün Kodu	Ön Montaj	Üretim Adedi	Vardiya	Termin Süresi	Başlangıç Saati	Bitiş Saati	Gideceği Hat
8-718-647-490	320	200	1	19.04.17	00.00	01.00	1
8-718-647-491	320	100	1	19.04.17	01.00	01.30	3
8-718-649-258	330	52	1	19.04.17	01.30	01.45	3
8-718-690-243	330	45	1	20.04.17	01.45	02.00	3
8-718-641-495	340	22	1	20.04.17	02.00	02.30	3
8-718-645-814	320	55	1	20.04.17	02.30	03.00	2

Önemli performans ölçütleri olan geciken ve erken biten işler, ön montaj hatlarının verimliliği ve makine kullanım oranları için kullanıcı modülleri geliştirilmektedir. Firmadan gerekli veri tamamıyla sağlandığında KDS’nin geçerlemesi yapılacaktır.

5. Sonuç ve Öneriler

Proje sonucunda ön montaj hatlarının çizelgeleme problemi için bilimsel metotlar kullanılarak iki alternatif çözüm geliştirilmiş, Excel Visual Basic Applications ile kodlanmıştır. Kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilmeye devam ediyor. Sistem, yeni ürün eklenmesine ve iş rotalarındaki değişikliklere uyum sağlayacak niteliktedir. KDS sayesinde, ön montaj hatlarında tecrübeye dayalı çizelgelerin yerine bilimsel metotlarla oluşturulan çizelgeler sunulacaktır.

KAYNAKÇA

- Pinedo, M. (2002). "Scheduling Theory, Algorithms and Systems". New Jersey, Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Eren, T., Güner, E. (2007). "Setup and removal times with learning effect in single machine scheduling problems". *Trakya University Journal of Science*. doi: 8(1), 07-13.J.F.
- Özgüven, C., Özbakır, L., Yavuz, Y. (2010). "Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility", *Applied Mathematical Modeling*, 34(6), doi: 1539-1548.
- Li. Q., Pan Q.K, Tasgetiren M.F. (2014)." A discrete artificial bee colony algorithm for the multi-objective flexible job-shop scheduling problem with maintenance activities, *Applied Mathematical Modeling*. 38,doi: 1111–1132.
- Pezzella F., Morganti G., Ciaschetti G. (2008). "A Genetic Algorithm for the Flexible Job- Shop Scheduling Problem", *Computers and Operations Research* 35, doi: 3202-3212.
- Kacem I., Hammadi S., Üyeler, IEEE and Borne P., Fellow (2002). "Approach by Localization and Multiobjective Evolutionary Optimization for Flexible Job- Shop Scheduling Problems", *IEEE Transactions on Systems, Man*, 32(1).
- Bosch Türkiye, http://www.bosch.com.tr/tr/tr/our_company_2/our-company-lp.html Son erişim tarihi: 6 Nisan 2017.

IE 495 ve IE 496 Uygulama Planı

1. GİRİŞ

Bitirme projesi, IE 495 ve IE 496 olmak üzere birbirini takip eden iki dersten oluşmaktadır. Bunlar, birinci dönem sistem analizi ve genel tasarımının yapıldığı IE 495 ve ikinci dönem sistem geliştirme ve uygulamanın bulunduğu IE 496 dersidir. Bu iki aşamadaki tüm bölümler numaralandırılarak aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1. Proje Adımları ve Haftalık Çizelge.

IE 495, Sistem Analizi, Güz Dönemi		
Bölüm	Başlık	Hafta
1	Sistemin Genel Analizi	5-9
2	Mikro Sistem Analizi	
3	Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış	10-13
4	IE 495 ve IE 496 için Proje Planlaması	
5	Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu	
6	Literatür Çalışması	18-19

IE 496, Sistem Tasarımı, Bahar Dönemi		
7	Çözüm Metodolojisi	1-5
8	Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması	
9	Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması	6-10
10	KDS'nin Doğrulama ve Geçerlemesi	
11	Karşılaştırma	11-13
12	Uygulama	

Her bir bölümün içinde, öğrencilerin tamamlamakla yükümlü olduğu alt aşamalar vardır. Bu aşamalar ve kesin tarihleri dersin öğretim planında belirtilmiştir.

2. İÇERİK

2.1. IE 495

IE 495 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

1. Sistemin Genel Analizi

- Firma ile ilgili genel bilgiler (yaz stajındaki ilk kısım baz alınabilir).
- Firmanın girdi ve çıktıları: ham madde, tedarik sistemi, son ürüne geçiş (üretim ve malzeme akışları kara kutu olarak modellenebilir).
- Firmanın üretim ve malzeme akış sistemi ile ilgili bilgileri (imalat süreçleri, malzeme akışları, vb.).

2. Mikro Sistem Analizi

- Problemin konusu / çerçevesinin çizilmesi.
- Sistemin tanımlanması (grafikler ve görsel materyallerle desteklenebilir).
- Gözlemler, veri toplanması.
- Veriler ışığında bulguların (semptomlar) belirlenmesi.
- Problemin tanımlanması.
- Hedefler, kritik başarı faktörlerinin belirlenmesi (projenin başarılı olup olmadığını belirlemek adına tanımlanan ölçülebilir kriterler).

3. Çözüm Araçlarına ve Literatüre Genel Bakış

- Lisans derslerinin gözden geçirilmesi.
- Kitaplar seviyesinde literatürün incelenmesi.
- Çözüm araçlarının ortaya konulması.
- Kontrol edilebilen / edilemeyen faktörlerin belirlenmesi.
- Değişken ve parametrelerin tanımlanarak alabilecekleri değer aralıklarının belirlenmesi.
- Taslak modelin kurulması.

4. IE 495 ve IE 496 için Proje Planlaması

- Tanımlanan problem için çözüm yöntemlerinin önerilmesi ve uygulamanın planlanması.
- Zaman çizelgesi ve çalışma takviminin oluşturulması.
- IE 496'da projenin başarıya ulaşmasını tehdit edebilecek belirsizliklerin sıralanması, potansiyel risklerin öngörülmesi ve analizi.
- Potansiyel risklerin bertaraf edilmesi için gereken yaklaşımların belirlenmesi.

5. Problemin Modellenmesi ve Formülasyonu

- Model formülasyonunun ortaya konulması.
- Modelin çözümlene yöntemleri açısından irdelenmesi.

6. Literatür Çalışması

- Model belirlendikten sonra çözüm yöntemleri için literatürün derinlemesine araştırılması (makale seviyesinde).

2.2. IE 496

IE 496 dersi altı ana basamaktan oluşmaktadır:

7. Çözüm Metodolojisi

- Çözüm yönteminin belirlenmesi.
- Belirlenen yöntemin oyuncak veriler kullanılarak oturtulması / doğrulanması.

8. Çözümleme ve Model Tabanının Oluşturulması

- Veri toplanması.
- Modele veri yüklenmesi.
- Çözüm yönteminin kodlanması ve çözüm alınması.
- Yöntemin geçerlemesi, duyarlılık ve parametre analizleri.

9. Karar Destek Sistemi'nin (KDS) Oluşturulması

- Veri tabanının oluşturulması.
- Model tabanı ile veri tabanının konuşlandırılması.
- Kullanıcı ara yüzünün tasarlanması.
- Kullanıcıya sunulacak KDS çıktılarının derlenip raporlarının tasarlanması.

10. KDS'nin Doğrulaması ve Geçerlemesi

- KDS'nin çeşitli senaryolarla doğrulanması ("verification").
- KDS'nin firma verisiyle işe yaradığının gösterilmesi, geçerleme ("validation").

11. Karşılaştırma

- Kritik başarı faktörleri baz alınarak mevcut işleyiş ile tasarlanan sistemin karşılaştırılması.
- Kritik başarı faktörleri kullanılarak yapılan iyileştirmelerin sayısal verilerle ortaya konulması.

12. Uygulama

- KDS'nin hazırlanan kullanım kılavuzu ile birlikte firmaya teslim edilmesi.
- Sistemin mümkün olduğunca hayata geçirilmesi.

3. IE 495 / IE 496 TAKVİMİ

3.1. IE 495 Takvimi

Dönem başlamadan önce

Projelerin belirlenmesi

Dersin koordinatörü ve iki öğretim elemanından oluşan proje komisyonu, tüm bölüm elemanlarının kontaklarıyla belirlenen potansiyel projeleri yerinde görüşmek üzere, firma ziyaretleri yaparlar. Bu sayede, gerçekleştirilecek bitirme projeleri belirlenir ve bu proje konuları özetlenerek belgelenir.

1. Hafta

Bölüm Kurulu toplantısı

Dersin koordinatörü dersin işlenişi, izlenecek takvim ve projeler konusunda danışman hocaları bilgilendirecek ve bunu takiben proje danışmanları belirlenecektir.

2. Hafta

Öğrencilerle ilk buluşma

IE 495 ile ilgili öğrencilerle yapılan bu ilk toplantıda dersin işleyişi, kuralları ve bölüm kurulu tarafından belirlenen grup oluşturma kriterleri hakkında öğrencilere bilgi verilecek, projeler öğrencilere tanıtılacaktır. Bu toplantıda öğrencilere proje danışmanlarının kim olduğuna dair bilgi verilmeyecektir.

3. Hafta

Grup oluşturma

Bölüm kurulu tarafından belirlenen kişi sayısı ve grup not ortalamalarına uygun bir şekilde öğrenciler tarafından oluşturulan gruplar, bilgilerini EK-1'deki "A01-Group Formation Form"u doldurarak dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir.

Grupların belirlenmesi

Grubu olmayan öğrenciler mevcut gruplara atanacak ya da bu öğrencilerden yeni gruplar oluşturulacaktır. Kriterlere uygun olmadığı belirlenen gruplar yeniden düzenlenecek ve grupların son hali dersin lectures sayfasında ilan edilecektir.

Grupların proje tercihlerini bildirmesi

Gruplar proje tercihlerini EK-2'deki "A02-Project Preference Form"u doldurarak dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir. Öğrencilerin tercih yaparken tüm projeleri sıralamaları zorunludur.

Grupların projelere atanması

Tercihlerin girdi olarak alındığı bir eşleştirme algoritması uygulanarak gruplar projelere atanacaktır. Algoritma her grubun mümkün olduğu kadar en yüksek tercihinin atanmasını sağlamaya çalışırken; şirketlerin tercihlerini de dikkate alacaktır. Bunun sonucunda ortaya çıkan grup-proje-danışman eşleşmeleri dersin lectures sayfasında ilan edilecektir.

4. Hafta

Grupların danışmanlarıyla ve firmalarıyla temasa geçmeleri

Gruplar danışmanlarıyla temasa geçerek haftalık düzenli buluşma saatlerini belirleyeceklerdir. Yine aynı şekilde firmalarla haftalık düzenli buluşma günlerini (ortalama 2 yarım gün) belirleyeceklerdir. Danışmanların ayda en az bir kez bir yarım gün işletmede bulunması beklenmektedir. Ayrıca, firmalar ile gizlilik sözleşmeleri imzalanarak dersin koordinatörüne teslim edilecektir (bkz. *EK-3: A03-Gizlilik Sözleşmesi*).

5 ve 9. Haftalar arası

Bölüm 1 ve 2 çalışmaları

4 ve 8. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 1. ve 2. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir.

10 ve 13. Haftalar arası

Bölüm 3, 4 ve 5 çalışması

10. ve 13. haftalar arasında tüm grupların 3, 4 ve 5. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir. 1. bölümden 5. bölüme kadar yapılan çalışmalar raporlanacaktır.

14. Hafta

Proje alanı ile ilgili ders bilgisinin ölçülmesi

14. haftada tüm grupların proje konusuyla ilgili birikimlerini ölçecek biçimde proje danışmanları tarafından değerlendirilecek yazılı (klasik tip) bir sınav ile proje öğrencilerinin alan bilgileri sınanacaktır.

15. Hafta

İlk rapor teslimi

Gruplar, 1.-5. bölümlerde yaptıkları çalışmalarını içeren ve EK-5 “A05-English Report Template” dosyasından yararlanarak hazırladıkları İngilizce raporlarının teslimini yapacaklardır. Raporun tek kopya halinde öğretim planında belirtilen son tarihe kadar Sekreterliğe teslim edilmesi gerekmektedir. Gecikme durumlarında ceza uygulanır. Raporlar danışmanlar tarafından EK-6’daki “A06-IE 495 Report Draft Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir.

Bölüm 1,2,3,4,5 sunumları taslak çalışması

Gruplar, hazırladıkları sunum taslağını danışmanlarıyla gözden geçirip, danışmanlarından aldıkları geri bildirimle sunumlarına son hallerini vereceklerdir. Bu sunumda gruplar projelerinde ilk 5 bölüm ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlar bölüm akademik kadrosu tarafından EK-4’deki “A04-IE 495 Oral Presentation Evaluation Form” kullanılarak değerlendirilecektir.

Sunumlar

Bu sunumda gruplar projelerinde ilk 5 bölüm ile ilgili yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili İngilizce olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturum başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

16. Hafta

Rapor geri bildirim

IE 495 taslak raporları grupların danışmanları tarafından değerlendirilip gruplara geri verilecektir. Danışmanlar bu tarihte EK-6’daki “A06-IE 495 Report Draft Evaluation Form”u kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir.

17. Hafta

Son rapor teslimi

Grupların son hali verilmiş raporlarını, üzerinde danışman düzeltmelerinin bulunduğu taslak raporla beraber, tek kopya olarak öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmeleri

gerekmektedir. Raporlar, EK-5'deki "A05-English Report Template" formatında olmalıdır ayrıca son raporun ekleriyle birlikte elektronik versiyonu (.doc) ve posterin (.pdf) formatındaki dosyası (5 MB'i aşmayacak şekilde formatlanmış) dersin lectures sayfasına yüklenmelidir (öğretim planında belirtilen son tarihte sistem otomatik olarak kapanacaktır).

IE 495 –Not teslimi

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-7'deki "A07-IE 495 Final Report Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

18 ve 19. Haftalar

6. Bölüm çalışması

Dönem arası ayrıntılı (makale bazında) literatür araştırmasına ayrılmıştır. Bu dönemde grupların bu çalışmayı tamamlaması beklenmektedir. Dönem arasında firma ziyaretleri planlandığı gibi devam etmelidir.

3.2. IE 496 Takvimi

1 ve 5. Haftalar arası

Bölüm 7 ve 8 çalışması

1 ve 5. haftalar arasında tüm grupların projelerinde 7. ve 8. bölümleri tamamlamaları gerekmektedir.

6 ve 10. Haftalar arası

Bölüm 9 ve 10 çalışması

9 ve 12. haftalar arasında tüm grupların 9 ve 10. bölümleri tamamlamaları beklenmektedir. Bu dönemde 12. bölüm için de bir plan hazırlanacaktır.

11 ve 13. Haftalar arası

Bölüm 11-12 çalışması ve Türkçe rapor teslimi

11 ve 13. haftalar arasında grupların geliştirdikleri sistemleri işletmelerde uygulamaya başlatmaları ve projeyi tamamlamaları beklenmektedir. Tüm grupların 11. Bölüm çalışmasını tamamladıktan sonra EK-8'deki "A08-Türkçe Rapor Formatı"na uygun bir şekilde hazırladıkları Türkçe raporlarını (en fazla 14 sayfa) öğretim planında belirtilen son tarihe kadar tek kopya olarak sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir.

Gruplar, danışmanlarından 12. Hafta içinde geri bildirim alacaklardır. Danışmanlar öğretim planında belirtilen son tarihe kadar EK-9 "A09-Türkçe Taslak Rapor Değerlendirme Formu"nu kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir.

Gruplar Türkçe raporun son halini, üzerinde danışman düzeltmelerinin yer aldığı taslak raporla birlikte, öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim edecektir. Ayrıca, Türkçe raporun son halini dersin lectures sayfasına öğretim planında belirtilen son tarihe kadar yüklemeleri gerekmektedir. Danışmanlar Türkçe raporu EK-10'daki "A10-Türkçe Rapor Değerlendirme Formu"nu kullanarak değerlendirecek ve verdikleri notları dersin koordinatörüne teslim edecektir. Ayrıca bu raporlar proje yarışması kapsamında jüri üyeleri tarafından değerlendirmeye alınacak ve derlenerek kitap olarak basılacaktır.

İngilizce rapor taslağı teslimi

Grupların, EK-5'deki "A05-English Report Template"e uygun şekilde hazırladıkları tek kopya İngilizce rapor taslaklarını (en fazla 25 sayfa, ekler hariç) öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmesi gerekmektedir. Gecikme durumlarında ceza uygulanır.

Raporlar danışmanlar tarafından EK-11 “*A11-IE 496 Report Draft Evaluation Form*” kullanılarak değerlendirilecektir.

14. Hafta

Poster taslak çalışması

Gruplar, IE 496 kapsamında sunacakları posterlerini EK-12’deki “*A12-Poster Format*” a uyacak şekilde hazırlayacaklardır. Posterin dili İngilizce olacaktır. Bu posterlerde gruplar, projeleri kapsamında yapmış oldukları tüm çalışmalarını yansıtacaklardır. Grupların sunum günü öncesinde poster taslaklarını danışmanları ile paylaşıp geri bildirim almaları zorunludur. Gruplar, hazırladıkları posterleri dersin öğretim planında belirtilen son tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyeceklerdir.

Ayrıca, gruplar Proje Fuarı’nda sunulmak üzere aynı posterin Türkçe versiyonunu da hazırlayacaklardır.

Rapor geri bildirim

IE 496 taslak raporları grupların danışmanları tarafından değerlendirilip gruplara geri verilecektir. Danışmanlar bu tarihte EK-11 “*A11-IE 496 Report Draft Evaluation Form*” u kullanarak yaptıkları değerlendirmeleri dersin koordinatörüne teslim edecektir.

15. Hafta

Son İngilizce rapor ve değerlendirme formları teslimi

Grupların son hali verilmiş raporlarını, üzerinde danışman düzeltmelerinin bulunduğu taslak raporla beraber, tek kopya olarak öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim etmeleri gerekmektedir. Raporlar, EK-5’deki “*A05-English Report Template*” formatında olmalıdır ayrıca son raporun ekleriyle birlikte elektronik versiyonu (.doc) ve posterin pdf formatındaki dosyası (5 MB’i aşmayacak şekilde formatlanmış) dersin lectures sayfasına yüklenmelidir (öğretim planında belirtilen son tarihten sonra sistem kapanacaktır).

Bunun yanında tüm grup üyeleri birbirlerini EK-14’de verilen “*A14-Peer-evaluation Form*”u kullanarak değerlendirmeli ve bu formları ayrı ayrı kapalı zarflarda son raporla birlikte sekreterliğe teslim etmelidir.

Ayrıca grup ve danışmanların firmayı değerlendirdiği EK-15’deki “*A15-Company Evaluation Survey*” ve firmanın projeyi değerlendirdiği EK-16’daki “*A16-Project Evaluation Survey*” anketleri de son raporla birlikte kapalı zarflarda sekreterliğe teslim edilmelidir.

Karar Destek Sistemi ve kullanım kılavuzunun teslimi

IE 495-496 çerçevesinde iki dönem boyunca çalışılan projelerin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için, geliştirilen Karar Destek Sistemleri'nin kullanım kılavuzları ile birlikte firmalara teslim edilmesi önem arz etmektedir. Gruplar, geliştirdikleri Karar Destek Sistemi'ni hazırladıkları kullanım kılavuzu ile birlikte proje yaptıkları firmalara teslim edeceklerdir. Ayrıca, hazırlanan kullanım kılavuzları ve beraberinde bir CD'yle Karar Destek Sistemleri öğretim planında belirtilen son tarihe kadar sekreterliğe teslim edilecektir. Kullanım kılavuzu dili Türkçe olacaktır.

Proje fuar sunumu taslak çalışması

Gruplar, IE 496 kapsamında yapacakları Türkçe final sunumunun taslağını danışmanlarıyla gözden geçirip, danışmanlarından aldıkları geri bildirimle sunumlarına son hallerini vereceklerdir. Bu sunumda gruplar projelerinin bütününde yapmış oldukları çalışmaları anlatacaklardır. Bunun yanında her grup projeleriyle ilgili 2 dakikayı geçmeyen bir *sunum videosu* hazırlayarak öğretim planında belirtilen tarihe kadar dersin lectures sayfasına yükleyecektir. Ayrıca, gruplar Proje Fuarı'nda sunulmak üzere daha önce hazırlamış oldukları İngilizce posterin Türkçe versiyonunu da hazırlayacaklardır.

Proje alanı ile ilgili ders bilgisinin ölçülmesi ve IE 496 Çıkış Anketi

14. haftada tüm grupların proje konusuyla ilgili birikimlerini ölçecek biçimde proje danışmanları tarafından değerlendirilecek yazılı (klasik tip) bir sınav ile proje öğrencilerinin alan bilgileri sınanacaktır. Sınav öncesinde öğrencilerin IE 496 (çıkış) anketini ve mezun bilgi formunu doldurmaları gerekmektedir.

İngilizce poster sunumu

Gruplar, IE 496 kapsamındaki posterlerini sunum alanında belirlenen zaman aralığından itibaren sergileyeceklerdir. Grup üyeleri posterlerinin önünde bölüm akademik kadrosunun sorularına yanıt verecek ve projelerini anlatacaklardır. Poster sunumlarına EK-13'deki "*A13-IE 496 Poster Presentation Evaluation Form*" kullanılarak not verilecektir. Bu sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur.

Proje Fuarı

IE 496 kapsamında yapacakları final sunumunda gruplar projelerinin bütününde yapmış oldukları çalışmaları işletme temsilcileri ve diğer davetliler önünde anlatacaklardır. Sunumların, oturum başlamadan önce, sunum bilgisayarına yüklenmiş olması gerekmektedir. Sunumlara tüm grupların ve akademik kadronun katılımı zorunludur. Sunum dili Türkçe

olacaktır. Powerpoint veya Prezi gibi programlar kullanılarak hazırlanmış olan sunumların oturma başlamadan önce duyurulan zamana kadar sunum yapılacak bilgisayara yüklenmiş olması gerekmektedir. Ayrıca, sunumlarında Powerpoint veya Prezi dışında herhangi bir program çalıştıracak olan grupların, sunum gününden önce o programın sunum yapılacak bilgisayarda yüklü olup olmadığını test etmeleri gerekmektedir.

Buna ek olarak, sunumlar başlamadan önce poster alanında Proje Fuarı için hazırlanmış Türkçe posterler sergilenmek üzere asılacak ve sunumlar sonrası tüm proje ekibi posterlerinin başında, kişisel bilgisayarlarında açık bulunan Karar Destek Sistemlerini tanıtmak ve poster üzerinden davetlilerin sorularını yanıtlamak üzere hazır bulunacaklardır. Fuarın sonunda, rapor ve sunumlar değerlendirilerek en başarılı gruplar seçilecektir. Projeler, önceden belirlenmiş jüri üyeleri tarafından EK-17'deki "A17-Jüri Değerlendirme Formu"na göre değerlendirilecektir.

16. Hafta

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları

Son sınıf öğrencilerinin final sınavları final döneminin ikinci haftasında yapılacaktır.

Bölüm Kurulu toplantısı

Grupların raporları danışmanlar tarafından EK-18'deki "A18-IE 496 Final Report Evaluation Form" kullanılarak değerlendirilecek ve ders koordinatörüne teslim edilecektir. Bölüm Kurulu tarafından notlar verilecek ve her projenin danışmanları kendi gruplarının notlarını öğrenci bilgi sistemine girecektir.

4. DİĞER HUSUSLAR

4.1. Değerlendirme

Dönem harf notu bölüm kurulunca belirlenecektir. Proje grupları notlandırılırken her bir öğrenciye ayrı not verilebilir. Gruplar değerlendirilirken altı ölçüt göz önünde bulundurulacaktır. Bu altı ölçüt, aşağıdaki tabloda belirtilmiştir:

Tablo 2. Notlandırma Kriterleri

Notlandırma Kriteri	IE 495 (%)	IE 496 (%)
İngilizce Sunum	35	-
İngilizce Poster Sunumu	-	35
İngilizce Rapor (Ekler hariç en fazla 25 sayfa)	30	20
Final Sınavı (yazılı)	15	10
Türkçe Rapor (en fazla 14 sayfa, Ekler olmayacaktır)	-	10
Grup üyelerinin birbirine verdiği notlar	5	5
Danışman değerlendirmesi	15	10
Proje Fuarı	-	10
Toplam	100	100

Grubun ortalama harf notu, TÜBİTAK Proje Yarışması veya TÜBİTAK Desteği, YAEM Öğrenci Proje Yarışması, Bölüm Proje Fuarı, TMMOB Yarışması gibi saygın platformlarda grubun başarı kazanması halinde bir barem yukarı yükseltilebilir. Bölüm kurulu tarafından kararlaştırılan nihai notlar öğrenci bilgi sistemine dersin grup danışmanları tarafından girilecektir.

4.2. Buluşma Saatleri

Grupların danışmanlarıyla düzenli olarak haftada en az bir kez görüşmesi beklenmektedir. Grupların firma ziyaretlerine düzenli olarak haftada 2 yarım gün ayırmaları öngörülmektedir.

4.3. Devamlılık

Haftalık buluşmalarda devam (kişi bazında) zorunludur ve derse %80 devamlılık aranmaktadır. Devamsız öğrenciler R notu ile değerlendirilecektir. Öğrencilerin devam durumu ve katılımı danışman değerlendirmesini doğrudan etkileyecektir.

Not: Uygulama planında geçen tüm dökümanlar, planın “Ekler” kısmında listelenmiştir ve elektronik halleri dersin lectures sayfasında bulunmaktadır.

PROJE EKİPLERİ

İçecek Dağıtım Deposu Tasarım Problemi Coca Cola İçecek A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Banu Yetkin Ekren (banu.ekren@yasar.edu.tr)
Anıl Akpunar (anilakpunar@gmail.com.tr)

Öğrenciler

Ayça Bozkurt
Emre Ervardar
Hande Taşkiran
Said Cihad Gürlesin
Taylan Atar

Malzeme Besleme Sisteminin Analizi Delphi Otomotiv Sistemleri

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Sencer Yeralan (sencer.yeralan@yasar.edu.tr)
Mert Paldrak (mert.paldrak@yasar.edu.tr)
Damla Kesikburun (damla.kesikburun@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Aykut Feran
Ersel Yayla
İmge Şipkan
Merve Avcı
Nazlı Özen
Özde Öcal

Gemi Filo Dağıtımı ve Hız Optimizasyonu Problemi,
Arkas Konteyner Taşımacılık A.Ş.
BİMAR Bilgi İşlem Hizmetleri A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Dr. Efthimia N. Staiou (efthimia.staiou@yasar.edu.tr)
Sel Özcan Tatari (sel.ozcan@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Ezgi Acar
Atacan Peker
Efe Kenan Keskiner
Hazel Puza
Zeynep Gürmen

**Konteyner Terminalinde Çok Seviyeli Depolama
Planlaması,**

Nemport Liman İşletmeleri ve Özel Antrepo Nakliye Ticaret
A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Yard. Doç. Dr. Erdinç Öner (erdinc.oner@yasar.edu.tr)
Damla Kızılay (damla.kizilay@yasar.edu.tr)
Özgün Öztürk (ozgun.ozturk@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

F. Yasemin Bilgel
Fatih Çelik
Ege Günlüsoy
Büşra Şen
Cansu Yurtseven

Yıllık Üretim Planlaması ve Çizelgeleme,

Philsa Sabancı Sigara ve Tütüncülük Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Doç. Dr. Deniz Türsel Eliyi (deniz.eliyi@yasar.edu.tr)

Yard. Doç. Dr. Gizem Mullaoglu

gizem.mullaoglu@yasar.edu.tr)

Damla Kızılay (damla.kizilay@yasar.edu.tr)

Özgün Öztürk (ozgun.ozturk@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Emre Bulut

Cansın Bayar

Elif Dolmen

Oytun Cevre

Elay Gülleroğlu

Montaj Hattı Dengeleme Problemi, Whirlpool - Indesit Buzdolabı Fabrikası

Akademik Danışmanlar

Prof. Dr. Levent Kandiller (levent.kandiller@yasar.edu.tr)

Hande Öztop (hande.oztop@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Ceren Güngör

Cansın Kayserili

Ali Galip Matlar

Ela Mutlum

Can Şensu

Ön Montaj Hatlarında Atölye Tipi Çizelgeleme,
Bosch Termoteknik Isıtma ve Klima Sanayi Ticaret A.Ş.

Akademik Danışmanlar

Yard. Doç. Dr. Önder Bulut (onder.bulut@yasar.edu.tr)
Sinem Özkan (sinem.ozkan@yasar.edu.tr)

Öğrenciler

Pelin Demir
Seren Sezer
Şeyma Kübra Kaya
Tuğçe Çetinbudak
Umer Farooq Azeem



YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

Yaşar Üniversitesi Selçuk Yaşar Kampüsü
Üniversite Caddesi, No: 37-39 Ağaçlı Yol, Bornova, İzmir PK 35100
Tel: 0232 570 70 70 Fax: 0232 570 70 00

www.yasar.edu.tr



Whirlpool

NEWPORT



DELPHI